

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO BÁSICO  
DE BIOMECÂNICA**

**Pedro Paulo Deprá**

**CAMPINAS**

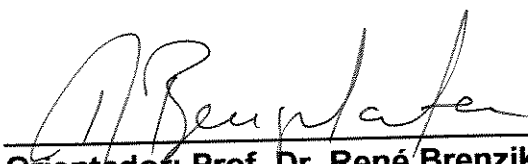
**1998**

**Pedro Paulo Deprá**

**DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO BÁSICO  
DE BIOMECÂNICA**

**Este exemplar corresponde à redação  
final da Dissertação defendida por  
Pedro Paulo Deprá e aprovada pela  
Comissão julgadora em 13.02.98.**

5,3,98



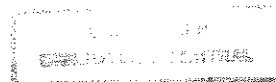
**Orientador: Prof. Dr. René Brenzikofer**

**Universidade Estadual de Campinas**

**Faculdade de Educação Física**

**Campinas - 1998**

5810685



UNIDADE	BC
N.º GERAL	
N.º DE CLASSIFICAÇÃO	D442d
V.	
T.	33600
P.	395/98
	X1
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	18/04/98
N.º DE	

CM-00109417-1

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP

D442d Deprá, Pedro Paulo  
Desenvolvimento de um laboratório básico de biomecânica / Pedro Paulo Deprá. -- Campinas, SP : [s. n.], 1998.

Orientador: René Brenzikofer  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física.

1. Biomecânica. 2. Biomecânica-Estudo e ensino. 3. Biomecânica-Experiências. 4. Laboratório. 5. Ciência-Metodologia. I. Brenzikofer, René. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

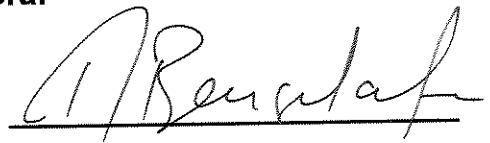
**PEDRO PAULO DEPRÁ**

**DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO BÁSICO DE  
BIOMECÂNICA**

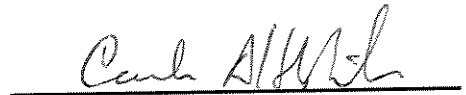
**Data de Aprovação: 13 / 02 / 1998**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. René Brenzikofer (Orientador)**



**Prof. Dr. Carlos Alberto Ribeiro**



**Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros**



**Universidade Estadual de Campinas**

**Faculdade de Educação Física**

**Campinas - 1998**

**À minha esposa Elaine e aos  
meus filhos, Guilherme e Maria  
Alice.**

## **AGRADECIMENTOS**

**A Deus, amigo incomparável.**

**Ao Prof. Dr. René Brenzikofer, meu orientador, pela dedicação a meu trabalho e pelo exemplo profissional.**

**À banca examinadora, Prof. Dr. Carlos Alberto Ribeiro e Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros, pelas sugestões que contribuíram para a realização desta dissertação.**

**Aos amigos Luiz Eduardo Barreto Martins e Luciano Allegretti Mercadante por permitir o convívio em seus lares.**

**Ao Prof. Dr. Euclides Custódio de Lima Filho pelo feliz e edificante convívio.**

**Aos amigos do Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Universidade Estadual de Campinas, Luciano, Ricardo, Sérgio e Pascual por compartilhar das mesmas preocupações e alegrias.**

**Aos amigos da UEM, Jones, Emerson e Silvia pela ajuda incondicional.**

**À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa através do PICDT - Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica.**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>ii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>10</b>
<b>4. O MÉTODO CIENTÍFICO</b>	<b>13</b>
4.1 O ESQUEMA DO MÉTODO CIENTÍFICO	15
4.2 A VERTENTE ANALÍTICA	17
4.2.1 O FENÔMENO	17
4.2.2 O MODELO	22
4.2.3 A PREVISÃO	27
4.3 A VERTENTE EMPÍRICA	29
4.3.1 O EXPERIMENTO	29
4.3.2 OS DADOS EXPERIMENTAIS	38
4.3.3 TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS	40
4.3.4 A AVALIAÇÃO/CONCLUSÃO	42
<b>5. PROPOSTA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS</b>	<b>45</b>
5.1 EXPERIMENTO 1 - ANÁLISE CINEMÁTICA DE CORREDORES DE ALTO NÍVEL NUMA PROVA DE 100 METROS RASOS	49

5.2 EXPERIMENTO 2 - ANÁLISE CINEMÁTICA DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS	58
5.3 EXPERIMENTO 3 - ANÁLISE DINÂMICA DOS PRIMEIROS PROCEDIMENTOS MECÂNICOS DE UM INDIVÍDUO PARA SAIR DE UMA SITUAÇÃO ESTÁTICA E REALIZAR O PRIMEIRO PASSO	71
5.4 EXPERIMENTO 4 - ANÁLISE ESTÁTICA DA ESTRUTURA DO MEMBRO SUPERIOR HUMANO EM SITUAÇÃO ISOMÉTRICA	82
5.4.1 EXPERIMENTO INTRODUTÓRIO	83
5.4.2 EXPERIMENTO APLICAÇÃO	90
5.5 EXPERIMENTO 5 - ANÁLISE DINÂMICA DE GOLPES PROFERIDOS PELO BRAÇO HUMANO CONTRA UM SACO DE TREINAMENTO DE BOXE	100
5.6 EXPERIMENTO 6- CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE VELOCIDADE DE UM BICICLETA ERGOMÉTRICA	111
5.7 EXPERIMENTO 7 - APLICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR NO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO DE UM CORPO	125
<b>6. ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS</b>	<b>146</b>
6.1 ORGANIZAÇÃO	146
6.2 ANÁLISE	148
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>151</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>154</b>
8.1 PROPOSTA DE CRIAÇÃO DE DISCIPLINA ELETIVA PARA OS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA	154
8.2 DISCO ESTROBOSCÓPICO	154
<b>9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>157</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>159</b>



## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo instrumentar a área de ensino dos cursos de graduação em Educação Física, desenvolvendo e propondo um laboratório básico de biomecânica, através de uma metodologia de ensino como ciência experimental. Através do laboratório, visa-se ao treinamento do profissional de Educação Física no método científico para a análise de fenômenos presentes na sua área de atuação, oferecendo exemplos de experimentos ligados à área da Biomecânica. O material produzido apresenta uma estrutura básica compreendida em dois capítulos, cujos conteúdos tratam do método científico, que é a postura crítica desejada do pesquisador frente aos fenômenos manifestados na sua área, e dos exemplos de aplicação do método científico, que são fenômenos ilustrativos possíveis de serem estudados em laboratório. Todos os experimentos foram montados, realizados e analisados. A seguir, foram aplicados na prática, trazendo ao laboratório um turma de alunos. Com isso, pôde-se descrever as características que contribuem para a aplicação prática do Laboratório Básico de Biomecânica: 1. a seleção de fenômenos inseridos no contexto da Educação Física para o desenvolvimento de experimentos; 2. o preparo extra-classe para a realização dos experimentos; 3. a participação assídua tanto do professor quanto do aluno nas atividades experimentais; 4. a avaliação contínua do aluno, através da correção dos relatórios desenvolvidos e através do atendimento individualizado por parte do professor em relação às dificuldades apresentadas e 5. a utilização do método científico como orientador das atividades laboratoriais.

Palavras-chave: Biomecânica, Biomecânica - Estudo e ensino, Biomecânica - Experiências, Laboratório, Ciência - Metodologia.

Autor da dissertação de mestrado: Pedro Paulo Deprá

Orientador: Prof. Dr. René Brenzikofer

Instituto de Física "Gleb Wataghin" - UNICAMP

Local: Laboratório de Instrumentação para Biomecânica

Faculdade de Educação Física

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

## S U M M A R Y

The aim of this master's dissertation is to instrument the teaching of undergraduate courses in Physical Education by developing and proposing a basic laboratory of biomechanics through a teaching methodology regarded as experimental science. The laboratory aims at the training of the Physical Education professional in the scientific method for the analysis of phenomena present in his/her specific line of action by offering experimental examples in biomechanics. The basic material produced and discussed comprises two chapters which deal with the scientific method, which is the desired critical stance of the researcher in regard to the phenomena that occur in his/her line of action, and deal with the examples of scientific method application, which are illustrative phenomena feasible of being studied in laboratory. All the experiments were prepared, carried out, analyzed and practiced by students in the laboratory. The major characteristics that contribute to the applicability of the basic laboratory of biomechanics may be described as follows: 1. selection of phenomena inserted in the Physical Education context for carrying out experiments; 2. extra-classroom study for carrying out the experiments; 3. teacher's and student's assiduous participation in the experimental activities; 4. continuous evaluation of the student by the teacher, through reports monitoring and assisting in special difficulties; use of the scientific method as the guide for laboratory activities.

**Keywords:** Biomechanics, Biomechanics - Study and teaching, Biomechanics - Experiences, Laboratory, Science - Methodology.

**Master's Thesis Author:** Pedro Paulo Deprá

**Advisor:** Dr. René Brenzikofer

Institute of Physics "Gleb Wataghin"

**Place:** Biomechanical Instrumentation Laboratory

Faculty of Physical Education

State University of Campinas - UNICAMP

## 1. INTRODUÇÃO

O homem tem sido objeto de estudo de inúmeras áreas científicas. Como exemplos, reconhecemos a antropologia, a psicologia, a sociologia, a anatomia, a fisiologia, entre outras, que têm como objetivo entender o homem, tanto em relação à sua constituição física quanto ao seu comportamento com a natureza.

A Biomecânica incorpora-se nessa lista, tendo como objeto de estudo a estática e o movimento do corpo do homem, mais especificamente em termos da sua análise mecânica.

Atualmente existem várias linhas gerais de pesquisa em Biomecânica reconhecidas por um dos mais significantes periódicos ligados à área, o Journal of Biomechanics. Como exemplo, pode-se citar a Biomecânica Cardiovascular e Respiratória, a Biomecânica Ortopédica, a Biomecânica Reabilitacional, a Biomecânica Celular e a Biomecânica do Esporte.

No Brasil, essas linhas têm sido desenvolvidas em alguns campos de aplicação, como a Medicina, a Fisioterapia e a Engenharia. Neste trabalho concentrar-nos-emos no campo da Educação Física.

A Biomecânica tem sido desenvolvida nos cursos e Faculdades de Educação Física, em dois níveis: ensino e pesquisa. No ensino, como disciplina acadêmica, e na pesquisa, como linha mestre de grupos de estudo.

Tomando uma visão geral sobre esses dois níveis abordados, observa-se que os conhecimentos, em áreas básicas, estão se tornando indispensáveis para formar a base de construção do conhecimento específico da Biomecânica. Em muitos casos basta inicialmente o conteúdo de um bom segundo grau.

Em termos dos grupos de pesquisa, observa-se o quanto a Biomecânica tem atraído profissionais de inúmeras áreas, mostrando o seu caráter interdisciplinar. Nesse sentido, pode-se dizer que a Biomecânica tem envolvido, simultaneamente, físicos, engenheiros, matemáticos, estatísticos, técnicos em computação, fisioterapeutas, professores de Educação Física, pois são considerados indispensáveis, na atual fase em que se encontram as pesquisas da área.

No entanto, no acompanhamento da formação do profissional de Educação Física, esse fato parece não sensibilizar os acadêmicos na graduação. Sente-se uma rejeição antecipada, por parte dos acadêmicos, quanto aos assuntos voltados à área das chamadas exatas, pois quando leis ou princípios físicos já não fazem mais parte dos vocabulários habituais, isso faz com que eles relutem em assimilá-los.

Diante desse quadro, parece-nos premente repensarmos o caminho metodológico delineado pela área, visando ao processo ensino-aprendizagem, uma vez que a Biomecânica é necessária para a formação do profissional de Educação Física.

Assim, começamos a realizar os seguintes questionamentos: Existe um conteúdo básico definido? Qual a metodologia adotada pela área? Que recursos técnicos são necessários para o seu desenvolvimento?

Para tentar responder a essas indagações decidimos realizar uma análise, de alguns livros pertinentes à área da Biomecânica, editados no Brasil. Seleccionamos quatro autores: HALL (1993), HAY & REID(1985), WIRHED (1986) e HASCH (1991).

Nos livros de Hall e Hay & Reid, de forma geral, os conteúdos da mecânica aplicada ao movimento são divididos em cinco capítulos, sendo dois destinados à cinemática linear e angular, dois à cinética (dinâmica) linear e angular e um à mecânica dos fluidos. No final de cada capítulo são apresentados exercícios (problemas) semelhantes aos aplicados nas disciplinas teóricas da Física. Apresentam ainda, capítulo referente à utilização da análise qualitativa do movimento desportivo. Os fenômenos estão ligados à Biomecânica, mas a aprendizagem do conceito está muito ligada à aplicação de equações.

Nos livros de Rasch e Wirhed os conceitos de mecânica aplicados ao movimento estão apresentados em capítulos mais gerais, como Biomecânica I e II e Biomecânica do Esporte. Mesmo assim, ainda apresentam questões para estudo e exemplos qualitativos de análise do movimento desportivo.

De forma geral, verificou-se que esses livros seguem basicamente uma mesma estruturação. Quanto à disposição dos conteúdos, segmentam seus

capítulos com discussões dos conceitos básicos, ligados à área da mecânica, com exemplos orientados à atividade da Educação Física.

Partindo dessa descrição, parece-nos que apesar de apresentarem um conteúdo básico bem definido, a metodologia para a aprendizagem que esses livros fornecem ao processo de ensino-aprendizagem na graduação, termina pelos exemplos e/ou pelos exercícios (problemas).

Não desprezamos a qualidade desses livros, nem a contribuição que eles têm no ensino de Biomecânica. No entanto, a estrutura deles é feita para uma aula de teoria e, eventualmente, para deveres de casa. Desta forma, a Biomecânica se caracteriza como teórica e os recursos técnicos necessários limitam-se aos audiovisuais característicos das aulas expositivas.

Sobre esse enfoque de organização da disciplina, HAY & REID (1985) comentam um trabalho realizado pela AAHPER - American Alliance of Health, Physical Education and Recreation, no qual são determinados os principais objetivos de um curso na área e os melhores métodos para atingir esses objetivos.

Os objetivos apontados visam a propiciar ao estudante: - conhecimento de uma abordagem sistêmica da análise do movimento humano e; - experiências na aplicação desse conhecimento para a avaliação tanto do executante como da execução. Os métodos indicados dizem respeito apenas a duas classificações: quantitativo e qualitativo.

Considerando essa iniciativa da AAHPER e a nossa análise, a avaliação que temos é de que a área ainda está carente de metodologias direcionadas à

formação básica do profissional de Educação Física, com relação à área de Biomecânica.

Inicialmente, sugiro olharmos as características da área do profissional de Educação Física, para então apontar-lhe os objetivos da Biomecânica. Assim, poderemos apontar um caminho metodológico possível de ser empregado.

O profissional de Educação Física, frente a seus alunos na rede de ensino e atletas em equipes desportivas ou enquanto pesquisador, tem como matéria de análise gestos desportivos, e padrões de movimento. Dentro da sua metodologia de trabalho, o conhecimento da Biomecânica vai auxiliá-lo na percepção e realização de uma avaliação dos movimentos de seus alunos ou atletas, seja ela qualitativa ou quantitativa.

Dependendo do seu ambiente de trabalho, vemos que poderá não ter em mãos instrumentos apropriados para uma determinação quantitativa numa análise dos movimentos do corpo. Diante de tal quadro, o profissional terá como ferramenta uma análise qualitativa do movimento, isto é, uma análise do gesto e dos fatores cinemáticos, dinâmicos e anatômicos, que contribuem ou interferem na sua execução.

Isso caracteriza a necessidade, por parte desse profissional, do uso de uma definição correta dos conceitos mecânicos envolvidos no movimento.

Assim, o processo didático-pedagógico na formação do acadêmico deverá priorizar uma metodologia que o capacite a assimilar e aplicar os conhecimentos da mecânica, seus princípios e conteúdos, presentes no

equilíbrio estático ou no movimento, além de orientar o acadêmico a um comportamento de estudo utilizando a sua capacidade de participação ativa, como é característica do seu campo de trabalho.

Apesar de reconhecermos a importância dessas metas, uma outra preocupação diz respeito à forma como essa metodologia deverá ser conduzida. A favor de procedimentos que favoreçam a aplicação do conhecimento, entendemos que essa preocupação deva estar voltada para uma metodologia que faça com que o acadêmico aprenda fazendo, aprenda experimentando, tal como é realizado nas atividades laboratoriais em outras áreas.

Um exemplo desse tipo de prática pode ser constatada através da área da Física. Além de suas disciplinas teóricas básicas, há continuidade no processo de ensino-aprendizagem dos mesmos conteúdos, através de disciplinas práticas.

Hoje, a Física, que é uma área necessária aos estudos de Biomecânica, como todos os cursos das áreas tecnológicas, contempla em seus cursos de graduação, laboratórios experimentais, cujo objetivo principal trata da aprendizagem do método científico.

Na prática, esses laboratórios experimentais tratam da aprendizagem de conceitos, a utilização de técnicas experimentais e a formação de uma atitude científica do acadêmico. Na Biomecânica, essa idéia parece aplicável, uma vez que vem ao encontro da necessidade de colocar o acadêmico numa situação prática, como sujeito do processo ensino-aprendizagem.



Com isso, espera-se que a Biomecânica aplicada à Educação Física, enquanto cadeira acadêmica, venha a se justificar pelo fato de visar a integração, tanto do nível do conhecimento específico quanto do nível de desenvolvimento de uma atitude científica do acadêmico, isto é, um comportamento crítico na análise dos fenômenos que o rodeiam, tendo como fio condutor o rigor científico.

Por essa razão, o que propomos neste trabalho é o desenvolvimento de um laboratório básico de Biomecânica, sua metodologia, aparelhamento e material didático pertinente.

Pretendemos ilustrá-lo com fenômenos observáveis na área da Educação Física, como por exemplo, a análise do desempenho de atletas numa prova de corrida do atletismo, a análise da estrutura do membro superior humano em situação isométrica e a análise dinâmica de golpes proferidos pelo braço humano.

E, assim, pretendemos propô-lo como uma estrutura metodológica possível de ser implementada nos cursos de graduação.

O assunto que estamos tratando é atual e necessita de uma iniciativa para solucioná-lo.

Entende-se que, com o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia voltada para o ensino da Biomecânica nos cursos de Educação Física, contribuir-se-á na geração de recursos humanos capazes, de dedicar-se à expansão dessa área enquanto linha de pesquisa e de aplicar corretamente

seus conteúdos na análise do movimento humano, quando a ênfase estiver direcionada para a área do ensino escolar ou da técnica esportiva.

A Biomecânica tem evoluído e as metodologias de análise do movimento humano têm sido aperfeiçoadas, em razão da alta tecnologia e da qualificação dos profissionais que trabalham com a pesquisa. Com a característica interdisciplinar da Biomecânica, o profissional de Educação Física não pode ficar com a função de simples usuário de tecnologia. A preocupação é formar indivíduos potencialmente capazes de contribuir com a área da Biomecânica.

## **2. OBJETIVOS**

Abaixo, apresentamos os objetivos dessa dissertação. O tema está ligado ao sistema de ensino de graduação, onde se propõe o desenvolvimento de um Laboratório Básico de Biomecânica.

### **2.1 Objetivo Geral**

- Instrumentar a área de ensino dos cursos de graduação em Educação Física, desenvolvendo e propondo um Laboratório Básico de Biomecânica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Propor uma metodologia de ensino de Biomecânica como ciência experimental;
- Treinar o profissional de Educação Física no Método Científico para a análise de fenômenos presentes na sua área de atuação;
- Oferecer exemplos de experimentos específicos, testados, em Biomecânica;
- Propor uma maneira de realizar os experimentos e analisá-los dentro da aplicação do Método Científico.

### **3. METODOLOGIA**

A Biomecânica está inserida num contexto interdisciplinar formado por inúmeras áreas científicas, no qual pesquisas experimentais são realizadas. Seu caráter experimental advém do fato de que, em suas pesquisas, não há como obter resultados por via teórica, necessitando sempre do processo de medição. Isso permite condicioná-la à atividade laboratorial, como é o objetivo geral deste trabalho, que está centrado no desenvolvimento de um Laboratório Básico de Biomecânica.

Por laboratório entende-se o local onde se possibilita o desenvolvimento da ciência experimental que é uma atividade na qual se realizam experiências científicas. E por Básico entende-se a questão do ciclo básico universitário, que visa ao ensino do método científico e ao desenvolvimento de um conjunto de experiências em laboratório.

O método científico é a postura crítica desejada frente ao estudo dos fenômenos manifestados na sua área, é também o caminho norteador de toda atividade experimental em termos dos passos a serem seguidos durante a atividade de investigação. E as experiências são atividades destinadas à análise de fenômenos presentes na área de aplicação.

Neste trabalho, o que estamos propondo para o desenvolvimento do Laboratório Básico de Biomecânica vem ao encontro da transmissão do conceito e aplicação do método científico.

O material produzido tem como intuito auxiliar as atividades didático-pedagógicas das disciplinas de Biomecânica e, para tanto, propomos uma estruturação compreendida em dois capítulos:

- O método científico e
- Exemplos de aplicação do método científico.

O primeiro capítulo listado é uma apresentação do método científico. Enfatiza a atitude criteriosa e dedicada que o pesquisador deve ter e apresenta, a partir de um esquema em forma de ciclo, cada passo a ser seguido durante uma atividade experimental. Cada passo é discutido através de um exemplo aplicado à área da Biomecânica.

No segundo capítulo, apresentamos uma seleção de experimentos a serem realizados. Nesses, propomos o estudo de fenômenos ilustrativos pertencentes à área de Educação Física, possíveis de serem estudados em laboratório de ensino.

Para a seleção desses experimentos utilizamos os seguintes critérios:

- que fossem experimentos que abrangessem conceitos de mecânica pertencentes à área de atuação da Biomecânica e
- que permitissem o exercício do método científico.

Todos os experimentos foram montados, realizados e analisados. A partir desse momento, todo o material produzido foi aplicado na prática.

Nessa aplicação, foi trazida uma turma de alunos de graduação de Educação Física para o laboratório. Para isso, foi prevista uma disciplina projetada para um semestre letivo constituído de quinze semanas, sendo sua carga horária semanal igual a três horas aula.

Para a realização dos experimentos foi seguida a seguinte dinâmica: como cada participante estava tendo um primeiro contato com o método científico, para cada experimento foram atribuídas duas semanas de trabalhos, destinadas ao seu planejamento e execução. A análise final de cada experimento executado foi incluída juntamente com a semana de execução.

Ao defrontar-nos com a dificuldade de mobilizar os acadêmicos da necessidade de estudos fora do horário de aula, foi atribuído, também, um horário fora de aula, destinado às eventuais dúvidas.

A semana de planejamento visou o primeiro contato com o experimento, onde realizou-se uma estruturação das atividades a serem executadas e um experimento-piloto. A semana da execução visou à realização do experimento por completo.

Antecipadamente, cada um dos experimentos foi orientado através de um material entregue aos alunos, contendo introdução, objetivos, conceitos a serem estudados e bibliografia necessária.

#### **4. O MÉTODO CIENTÍFICO**

A ciência tem como objetivo gerar conhecimento para melhor entender e interpretar os fenômenos manifestados pela natureza. O caminho comum para se chegar a isso é o método científico.

Inicialmente apresentado através dos trabalhos de Galileu Galilei no século XVII, o método científico é um conjunto de procedimentos que orientam as ações do pesquisador frente a um fenômeno de interesse a ser estudado.

Antes de Galileu, o método de análise de fenômenos na natureza, centrava-se apenas no aspecto da observação e da lógica.

Se contrapondo aos seus antecessores (Aristóteles, Platão), Galileu mostrou uma concepção do método no qual o critério da verdade científica era o da correspondência entre as suposições teóricas e as evidências dos fatos manifestados pela natureza (Köche, 1997). Isto é, as hipóteses construídas teoricamente sobre um determinado fenômeno estudado deveriam ser avaliadas pela experiência. E, desta forma, da natureza eram solicitadas informações a respeito do fenômeno estudado quando este realmente acontecia.

A partir de Galileu, a ciência buscou especificar interpretações do método científico. Na literatura especializada encontramos propostas que apesar de se diferenciarem de autor para autor, apresentam uma característica comum que é

o de contemplar em si uma potencial verificação da sua própria validade. Vejamos três exemplos.

Contemporâneo de Galileu, Bacon propôs a indução experimental, que consistia na observação de certas propriedades de um fenômeno para a partir daí, concluir sobre uma proposição mais geral. Nesse processo, Bacon enfatiza a necessidade da “repetição do experimento para a testagem das hipóteses, procurando obter novos dados e novas evidências que as confirmassem”. (Bacon apud Köche, 1997).

Para Russell apud Hegemberg (1976), o método científico se caracteriza pela seqüência de fases a serem cumpridas e enfatiza que a solução para o problema estudado, precisa coadunar-se com o que se admite verdadeiro, através do que ele chama de controle da solução.

Popper (1993,p.42), também enfatiza o critério da validação interna do método, ao dizer que um sistema só pode ser conhecido como empírico ou científico se ele for passível de comprovação pela experiência. Segundo ele “essas considerações sugerem que deve ser tomado como critério de demarcação, não a verificabilidade, mas a falseabilidade de um sistema”.

O trabalho que estamos desenvolvendo, trata da aplicação do método científico. O objetivo dessa aplicação está centrado na área de ensino com enfoque em trabalhos experimentais em laboratório.

Não é de se esperar que o acadêmico conheça o método científico. Assim, o seu treinamento passa a fazer parte do objetivo.



Em virtude do público-alvo contemplar acadêmicos em nível de graduação, optamos por tratar o método científico através de um esquema em forma de ciclo, comentando as orientações de cada um dos seus passos.

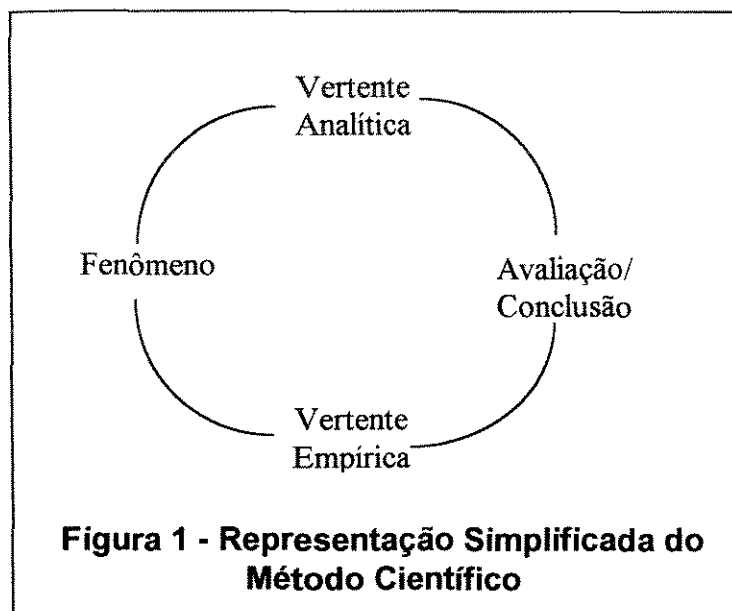
Para isso, adotamos o esquema e a metodologia proposta por BRENZIKOFER (1998) para os cursos de graduação do Instituto de Física “Gleb Wataghin” da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

Julgamos que esta maneira de apresentação do método é didática, uma vez que ele facilita a compreensão dos acadêmicos quanto as etapas da investigação científica. Este esquema já foi testado pelos professores do Instituto de Física, debatido e publicado inclusive em congressos nacionais de Biomecânica e há quatro anos vem sendo aplicado nos laboratórios de ensino.

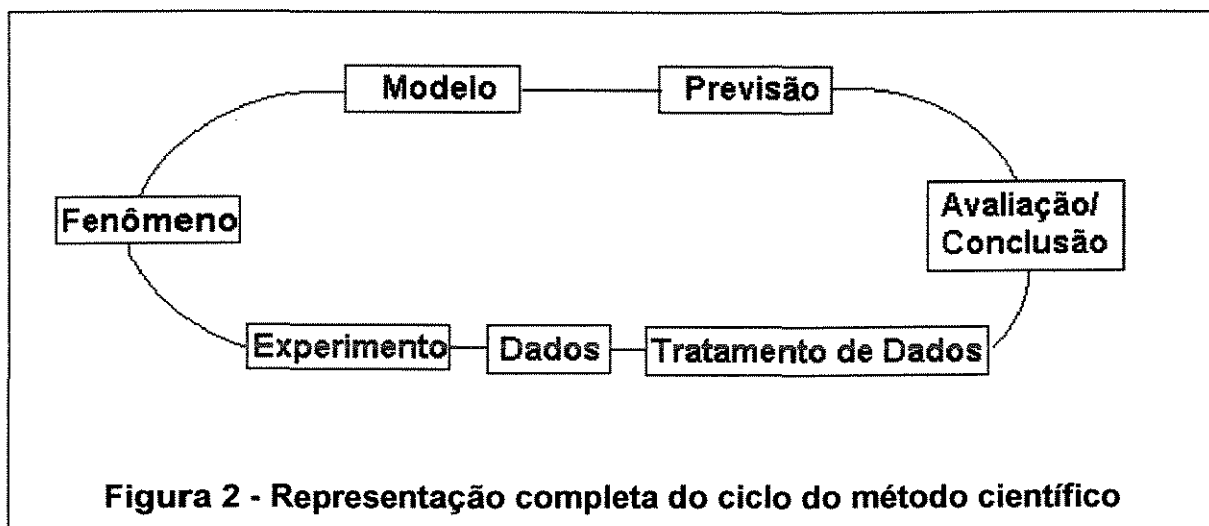
#### **4.1 O esquema do Método Científico**

O esquema do método científico é formado por um conjunto de etapas que ligam o fenômeno à sua interpretação.

Para executar a análise crítica, o método científico utiliza duas vertentes, uma analítica e outra empírica, cujos resultados devem ser comparados. No conjunto, as duas vertentes representam um ciclo fechado (fig. 1).



Cada vertente se subdivide em etapas para formar uma estrutura mais operacional (fig. 2). Na vertente analítica, aproveita-se o conhecimento prévio eventualmente existente sobre o fenômeno, explorando-o através do desenvolvimento de modelos e, em decorrência desses, indicando previsões de propriedades ou características. Na vertente empírica, o fenômeno é colocado em experimento, sendo analisado na prática laboratorial com a coleta e tratamento de dados (quantitativos ou qualitativos). O ciclo se completa com um confronto crítico, entre as previsões geradas analiticamente e os resultados obtidos experimentalmente.



Observe que o ciclo deve fechar e, assim, oferecer um elemento de credibilidade aos conhecimentos que foram injetados. Caso não feche, fica evidenciada uma falha em algum passo do ciclo, cabendo uma reavaliação para localizar e retomar a etapa responsável.

A seguir, vamos percorrer os dois lados do ciclo, entre o fenômeno e a avaliação/conclusão, procurando delimitar cada passo. No entanto, não podemos perder de vista a noção do método científico como um todo que é a atitude, o comportamento do pesquisador frente a um fenômeno.

## **4.2 A vertente analítica**

### **4.2.1 O fenômeno**

O fenômeno é um fato manifestado na natureza, geralmente o objeto centro da pesquisa.

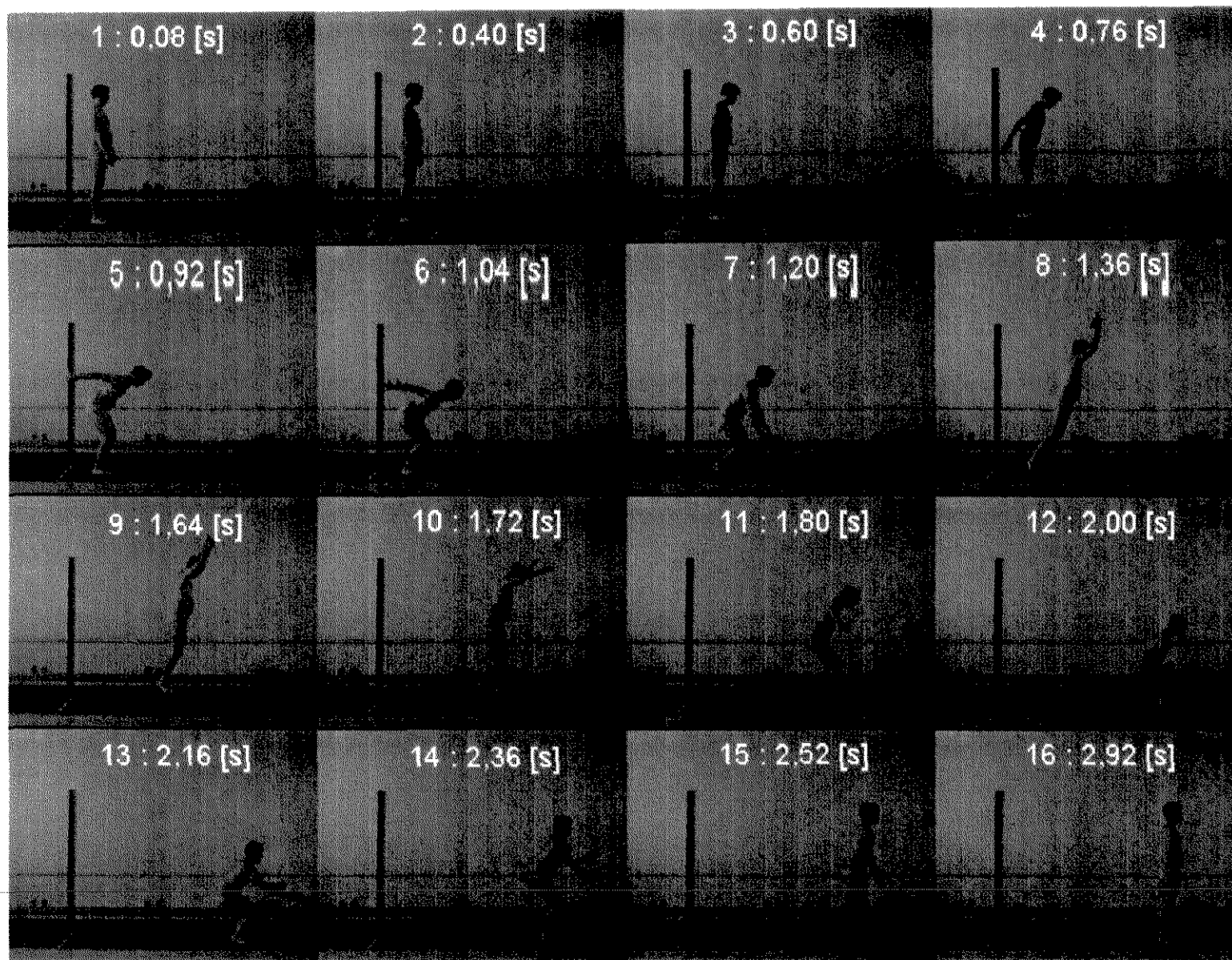
O pesquisador delimita um fenômeno de interesse e realiza um levantamento de propriedades, questionamentos e conhecimentos já

sedimentados a seu respeito. A partir daí, ele passa a formular a linha de investigação da pesquisa. Vejamos como isso pode ser visualizado na Educação Física, particularmente na Biomecânica. Em princípio, é de nosso conhecimento que existe uma vasta possibilidade de fenômenos a serem estudados, tendo como interesse o movimento apresentado ou produzido pelo homem.

Desses fenômenos, o objeto de investigação pode estar voltado para o movimento do próprio corpo humano, para a influência do meio (ar, água), para o efeito do seu vestuário (roupas, tênis, pés-de-pato) ou para os implementos que o homem utiliza (bola, dardos, pesos, discos, raquetes, tacos).

Como exemplo, vamos identificar um fenômeno e mostrar como se poderia definir o objeto e a linha de investigação: o objeto como parte pertencente ao fenômeno e cuja realidade se deseja conhecer; a linha de investigação como conteúdo em torno do qual se desenvolve toda a análise.

Tomemos como fenômeno um salto em distância, realizado por um indivíduo a partir de um posicionamento corporal estático, com pequeno afastamento lateral dos pés (fig. 3).



**Figura 3 - Sequência de imagens durante a realização do salto em distância. Os números representados em cada figura referem-se à identificação do quadro e ao tempo instantâneo em segundos.**

No senso comum, poder-se-iam descrever os movimentos do indivíduo, representado pelas 16 imagens. A numeração do texto abaixo corresponde à das fotos da figura 3 e estão descritas em seqüência, da seguinte forma:

1. O indivíduo está numa posição ereta, estática, com as mãos ao longo do corpo e com os pés em pequeno afastamento lateral;
2. Observa-se que a cabeça inclina-se para frente;
3. O corpo apresenta uma pequena inclinação para frente;
4. O tronco intensifica a inclinação para frente, acompanhado da movimentação dos braços para trás;
5. e 6. O movimento do tronco e braços continua acompanhado agora com flexão das pernas;
7. A partir da posição visualizada na figura 6, os braços começam a girar em sentido anti-horário;
8. Observa-se uma extensão do tronco e das pernas ficando o corpo apoiado na ponta dos pés;
9. e 10. O corpo é lançado em fase de vôo, observando-se um giro anti-horário do corpo e horário dos braços;
11. O corpo inicia a fase de aterrissagem no chão, apoiando o calcanhar;
12. O corpo aterrissa no chão com flexão das pernas e braços estendidos para baixo;
13. e 14. A partir de uma posição fletida, o corpo começa a estender e reequilibrar-se com movimentação dos braços no sentido anti-horário;

15. O corpo está praticamente estendido e os braços se dirigem ao longo do corpo;

16. O corpo volta a uma posição idêntica à inicial antes de realizar o salto em distância.

Partindo dessa descrição, nota-se que existem muitas possibilidades de investigação, por exemplo: pode-se realizar um estudo descritivo sobre os ângulos dos membros superiores e inferiores durante a inclinação do corpo ou sobre os grupos musculares que agem para que esses movimentos sejam executados.

Definiremos, porém, como objeto de investigação, a sucessão dos primeiros procedimentos mecânicos tomados pelo indivíduo na primeira fase do salto, dado pelas 6 primeiras imagens, quando o seu corpo inicia a inclinação para frente.

Definido o objeto de investigação, o pesquisador precisa definir, agora, uma linha de investigação. Aqui, definiremos como linha de investigação os fatores mecânicos que levaram o corpo a, inicialmente, inclinar-se para frente, ou seja, desequilibrar-se.

Nessa investigação, pretendemos aplicar o conceito de momento de força (torque) envolvendo essencialmente as forças peso e reação do solo.

Nos próximos itens deste capítulo, continuaremos a abordar sobre o mesmo exemplo.

### 4.2.2 O modelo

O modelo é uma descrição simplificada e estruturada do fenômeno que se quer estudar. O modelo é elaborado a partir dos conhecimentos prévios que se têm do fenômeno e das hipóteses a serem confirmadas.

O fenômeno se manifesta na natureza e, ao querer estudá-lo, o pesquisador busca criar um modelo, descrevendo-o, equacionando-o através de relações entre grandezas (variáveis) e propriedades, com ênfase em características que possam interessar à linha de investigação adotada. Para isso, o pesquisador se utiliza do conhecimento prévio que se tem sobre o fenômeno.

No corpo em ação, muitas grandezas e propriedades podem ser identificadas como elementos importantes, característicos do fenômeno e dignos de serem estudados. Dentre esses, o pesquisador seleciona um conjunto representativo que, no modelo a ser construído, poderá descrever o fenômeno. Vejamos dois trabalhos que exemplificam formas de dedução do modelo, para então retomar o fenômeno apresentado no item 4.2.1.

No primeiro trabalho, BRENIKOFER (1992) exemplifica o desenvolvimento de um modelo para o estudo do esforço muscular, desenvolvido a nível do joelho por um jovem, durante uma corrida. O modelo foi composto de um segmento representando a perna, o pé e o calçado e de uma articulação de eixo horizontal móvel no plano vertical. A obtenção do equacionamento para esse exemplo foi obtido através do formalismo de Lagrange. Esse permite escolher coordenadas generalizadas que não sejam os



x, y e z tradicionais das coordenadas cartesianas, bem como ângulos e distâncias, uma vez que a grande dificuldade que se tem para realizar o equacionamento vem da razão de que o movimento do joelho é não uniforme. Dessa forma, aplicando o formalismo de Lagrange, utilizando os dados cinemáticos em função do tempo, obtidos por filmagem e os dados antropométricos do sujeito, o autor pode calcular o torque líquido (ou resultante) aplicado ao joelho.

No segundo trabalho, MERCADANTE (1994) apresenta uma metodologia para orientação do corpo humano. Nesse trabalho, o corpo foi representado através de um objeto geométrico (elipsóide homogêneo equivalente) que conserva suas principais propriedades mecânicas: a posição do centro de massa, a massa e os momentos principais de inércia. A orientação espacial do corpo, ao longo do tempo, foi representada pela orientação do maior eixo entre os três principais eixos centrais de inércia. O elipsóide movimenta-se como o corpo, modificando sua forma conforme variam as posições dos segmentos corporais, podendo ser estudado diretamente no lugar do corpo.

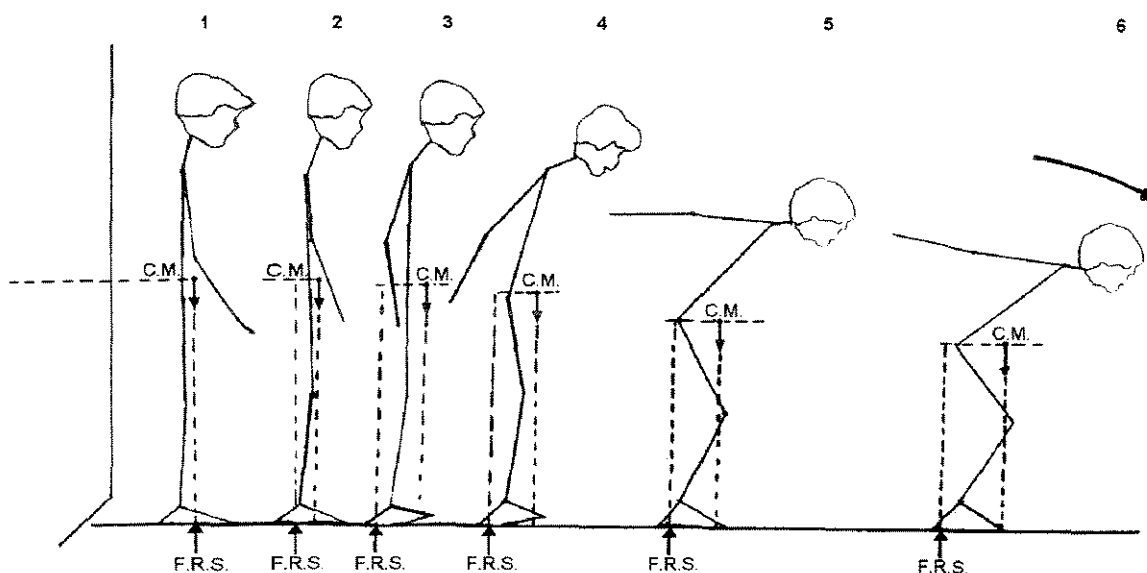
Ao estudar a mecânica do corpo humano, tanto em relação ao seu movimento quanto à sua estrutura, os autores acima desenvolveram modelos nos quais o homem é representado por segmentos articulados, associando-os às grandezas mecânicas: comprimento, massa, centro de massa e momentos de inércia. Definida a estrutura simplificada do corpo, podem-se aplicar as equações da mecânica para estudar sua movimentação.

Vamos retomar o objeto e a linha de investigação apresentados no item 4.2.1., e vejamos como essa noção de modelo poderia ser aplicada e descrita no estudo do salto em distância.

A linha de investigação adotada referia-se ao desequilíbrio inicial, apresentado pelo corpo antes do momento de entrar em fase de vôo, especificamente apresentado pelas seis primeiras imagens da figura 3.

Ao observarmos quadro a quadro as descrições dos movimentos do indivíduo durante essa fase, podemos representá-las através de uma descrição detalhada das ações de grupos musculares. Esses como responsáveis pelas ações de flexão e extensão dos membros superiores e inferiores durante o movimento.

No entanto, para estudar os fatores que levam o indivíduo ao desequilíbrio, podemos também representar seu corpo, sua posição e orientação por segmentos de retas, para observar como e onde as forças agem sobre ele, e como a posição e orientação do corpo respondem a isso.



**Figura 4 - Representação das forças agindo sobre o indivíduo**

Consideremos duas forças agindo sobre o seu corpo: o seu peso e a força de reação do solo (fig.4).

Consideremos a força peso agindo no centro de massa (C.M.), com direção vertical e sentido para baixo e a força de reação do solo (FRS) distribuída sob os pés, estando a sua resultante ( $\vec{F}_R$ ) posicionada na sola do pé, com direção vertical e sentido para cima. Na situação inicial, o corpo está parado e as duas forças agem sob uma mesma linha de ação, são iguais em magnitude, porém opostas; portanto a resultante sobre o corpo é zero, o que define um estado de equilíbrio estático (Fig. 4 - desenho 1).

Ao dizer que o corpo do indivíduo se movimenta para frente, questionamos: o que é necessário para que isso aconteça? será que alguém

empurra o corpo? Para que isso ocorra, há necessidade de gerar um momento de forças, um torque. Vejamos como isso se processa.

Quando o indivíduo inicia a sucessão de procedimentos para o salto, ele reduz a sustentação na parte frontal do pé, chegando, em alguns casos, até a realizar uma dorsiflexão. Com isso, a força (resultante) de reação do solo que estava alinhada com a força peso, passa a atuar na parte de trás do pé. Como as duas forças não estão aplicadas sob uma mesma linha de ação, há geração de um torque (Fig. 4 - desenho 2).

Com isso, o corpo começa a realizar uma rotação no mesmo sentido do torque produzido, chegando a uma posição fletida (Fig. 4 - desenhos 3, 4, 5).

Na posição fletida, as duas forças continuam agindo sobre o corpo: o peso e a resultante da força de reação do solo que agora atua sob o calcanhar (Fig. 4 - desenho 6).

Com essa análise, um modelo qualitativo é estruturado para representar o objeto selecionado na linha de investigação adotada. Com ele, possibilita-se um elo inicial entre o fenômeno e as informações a respeito da sua natureza. Evidentemente, esse modelo precisa ainda ser avaliado por via empírica.

Nos próximos itens deste capítulo, iremos dar continuidade à investigação sobre esse fenômeno.

Observe que, neste item 4.2.2., três exemplos foram apresentados: estudo do esforço muscular, metodologia para a orientação do corpo humano e salto em distância; e para cada um foi indicada a estrutura de um modelo específico.

É importante ressaltarmos que não existe um modelo absoluto que represente um fenômeno. Para cada fenômeno a ser estudado ou parte dele, haverá muitos modelos possíveis de serem aplicados, com maior ou menor grau de complexidade. A escolha dependerá da linha de investigação, do objetivo da pesquisa e do próprio conhecimento prévio existente sobre o fenômeno.

#### **4.2.3 A previsão**

Tendo em mãos um modelo, o próximo passo da vertente analítica é a previsão a ser gerada a partir do modelo. Ela é um elemento importante no método científico, pois, além de possibilitar uma análise antecipada do que possa acontecer, torna-se um parâmetro de comparação na avaliação final do ciclo.

A previsão representa uma declaração antecipada acerca dos resultados esperados a partir do modelo proposto para o fenômeno, na linha de investigação escolhida, sendo assim exposta para ser testada no confronto com os resultados experimentais.

Voltemos ao caso do salto, no qual o modelo propunha a geração de um torque e vejamos como a previsão poderia ser exemplificada.

A primeira previsão do modelo diz respeito ao deslocamento do ponto de aplicação da Força de Reação do Solo para a parte de trás do pé, para que haja a geração do torque.

A segunda previsão do modelo diz respeito à própria geração do torque. Em virtude da redução da sustentação na parte da frente do pé, há o deslocamento da força de reação do solo para trás, o que faz com que as duas

forças consideradas na análise (peso e reação do solo) estejam agindo em linhas de ações diferentes, gerando o momento de forças, que por sua vez induz ao movimento de rotação.

E a terceira previsão diz respeito ao efeito produzido pelo torque aplicado. O torque gera um desequilíbrio e o corpo inicia um movimento de rotação para frente. Com isso, o centro de massa é adiantado mais ainda, aumentando o torque. A previsão que se tem é que haverá uma aceleração na rotação.

Uma quarta previsão, poderia ainda ser feita, caso nada fosse feito para inverter o movimento do corpo do indivíduo, ocasionando dessa forma uma queda para frente.

Com as previsões, basta agora realizar um confronto crítico com as características observadas no movimento do indivíduo, a serem analisadas na vertente empírica, o que permitirá uma qualificação do modelo proposto.

Note que toda uma análise qualitativa foi executada para se gerar a previsão do modelo estruturado, utilizando-se conceitualmente das leis e dos princípios desenvolvidos pela mecânica clássica e dos conhecimentos de anatomia funcional. No entanto, é importante ressaltarmos que, em muitos casos, modelos e previsões são delineados matematicamente, baseando-se em conhecimentos das áreas da mecânica, matemática, estatística, aproveitando-se dos seus procedimentos e de técnicas desenvolvidas há séculos.

Assim, definido o fenômeno, elaborado o modelo e gerado as previsões, a vertente analítica, apresentada no esquema do método científico, está desenvolvida.

Não se tem com isso nenhum resultado prático da investigação, porém o pesquisador tem uma indicação, fundamentada no modelo, sobre o tipo de informação a ser procurada quando for analisar o fenômeno sob suas características reais, na execução do experimento, no qual ele realmente aparece.

### **4.3 A vertente empírica**

#### **4.3.1 O Experimento**

O fenômeno ou suas partes são objetos de interesse da investigação. No ciclo do método científico, a vertente analítica analisa o fenômeno com o intuito de estruturar um modelo e suas previsões. É na vertente empírica que o fenômeno acontece. Isto é, a vertente empírica concede um momento no qual o fenômeno é movido pela natureza.

Operacionalmente, a situação ideal para poder estudar um fenômeno seria observá-lo no seu ambiente natural sem a presença dos instrumentos que, muitas vezes, geram um incômodo. No entanto, em certos casos, isso é impossível, devendo o fenômeno ser levado para o laboratório, com toda infraestrutura de instrumentos já montada, ou o “laboratório ser levado” para onde o fenômeno se manifesta.

Desta forma, o fenômeno acontece inserido num universo chamado de sistema experimental, o qual contém todos os elementos da investigação: desde os pesquisadores, instrumentos a serem utilizados, até as condições locais.

Nesse sistema o pesquisador atua de forma que as partes de interesse do fenômeno sejam manifestadas. Para tanto, o pesquisador precisa defini-las preliminarmente, para que, as informações quando forem extraídas do sistema experimental, tenham origem no fenômeno, representem uma parte do mesmo e possibilitem a interpretação no final do método científico.

Para implementar a parte experimental, o pesquisador, após ter identificado o fenômeno a ser investigado, realiza um planejamento para que influências provenientes dos outros componentes do sistema experimental não venham a interferir na geração da informação.

Assim, o pesquisador precisa visualizar a atividade experimental de forma global. Além de tomar os cuidados necessários quanto aos fatores que precisam ser controlados e dimensionados (por exemplo, temperatura ambiente, umidade, fixação e funcionamento adequado de aparelhos, procedimentos de segurança, iluminação), possa estabelecer uma conexão entre as variáveis a serem quantificadas e as previsões já desenvolvidas na vertente analítica.

Essa conexão é importante, pois possibilita, no confronto final do ciclo, uma qualificação do modelo desenvolvido, sendo assim necessário que as variáveis contempladas na previsão, também sejam na realização do experimento.



Note que o método científico é muito mais que um conjunto de etapas a serem cumpridas. É uma maneira de agir, que exige do pesquisador um entendimento do todo e não de aspectos isolados de suas partes.

Sugiro retomarmos o exemplo do salto em distância e pensar como o pesquisador poderia projetar os meios e/ou instrumentos para analisar o fenômeno em laboratório.

O fenômeno-objeto de investigação trata da sucessão dos primeiros procedimentos mecânicos tomados pelo indivíduo na execução do salto. Através do modelo proposto, baseado na análise das forças (peso e reação do solo) atuando sobre o indivíduo, geramos previsões, indicando um movimento de rotação do corpo para frente em virtude do torque gerado.

Assim, identificamos as variáveis e as características do fenômeno que foram citadas na vertente analítica, para então traçarmos uma estrutura de como será encaminhada a sua análise.

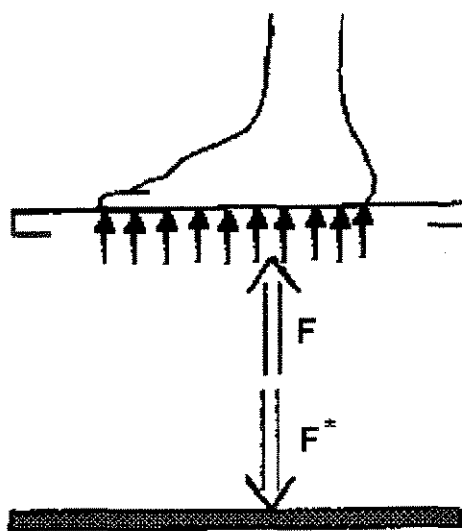
Nesse caso, identificamos numa seqüência de "causa e efeito": 1º - O deslocamento da Força de Reação do Solo para a parte de trás do pé (causa) sem a movimentação do centro de massa, originando um torque; 2º - A rotação do corpo para frente (efeito) acontecendo no intervalos entre as fotos 3 e 6, fazendo deslocar o centro de massa, 3º - O aumento da aceleração do deslocamento do centro de massa (efeito).

Inicialmente observaremos o efeito do deslocamento da força de reação do solo, pois o identificamos como a causa principal da movimentação antero-posterior apresentada pelo corpo.

Quando na posição ereta, a força de reação do solo se distribui sobre toda a superfície da planta do pé. O que procuramos então é localizar o ponto de aplicação da força resultante de reação do solo e acompanhar o seu deslocamento durante os primeiros procedimentos mecânicos do indivíduo para a realização do salto.

No movimento que estamos apresentando, sabe-se que, a olho nu, é imperceptível o efeito do deslocamento da posição dessa força resultante, necessitando assim, aparelhos que se destinam a essa finalidade.

Pela 3ª Lei de Newton, sabe-se que, à resultante da força de reação do solo aplicada sob o pé, está associada uma força resultante do pé aplicada ao solo, que tem a mesma localização, direção e módulo, porém com sentido contrário. Com isso, abre-se a possibilidade de considerarmos a força aplicada ao solo para localizarmos a força de reação (fig. 5).

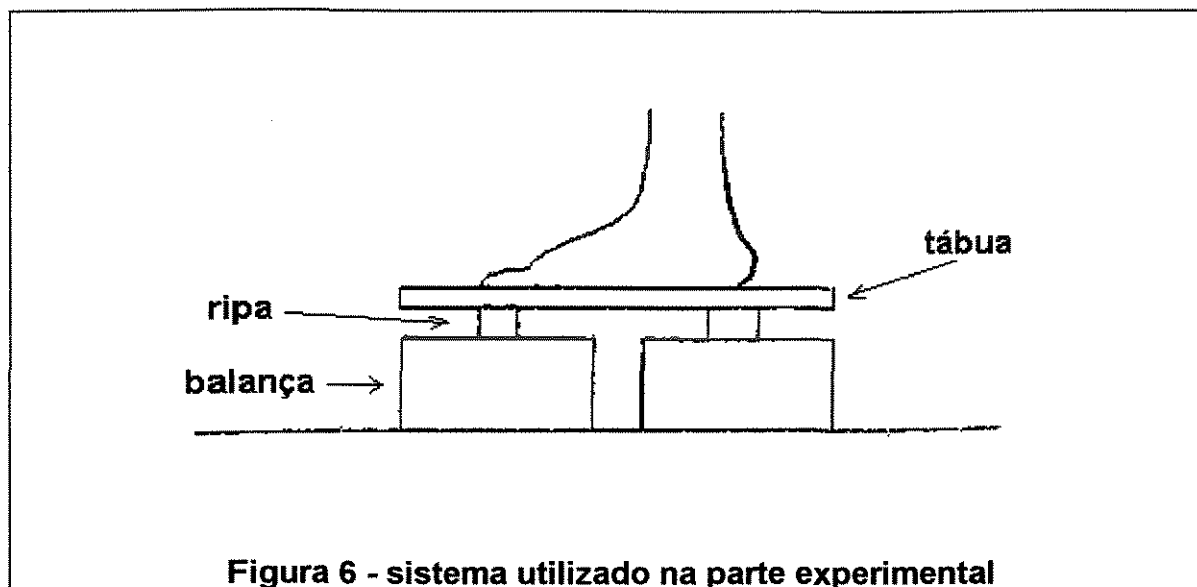


**Figura 5 - Representação das forças resultantes aplicadas ao pé e solo**  
**F - Força de Reação do Solo aplicado ao pé**  
**F\* - Força Resultante do Pé aplicado ao solo**

Existem aparelhos sofisticados, como as plataformas de força e palmilhas com sensores eletrônicos. No entanto, são caros, o que dificulta sua aquisição para fins de ensino nas escolas brasileiras.

Propomos aqui um instrumento no qual os princípios mecânicos possam ser mais facilmente compreendidos, enfatizando a parte conceitual. A análise a ser realizada será unidimensional no sentido antero-posterior do corpo.

Para exemplificar os conceitos de força mencionados (Força de Reação da Solo aplicada ao pé ( $F$ ) e Força Resultante do pé aplicada ao Solo ( $F^*$ )), estamos propondo a utilização de balanças. Duas balanças de uso doméstico, com marcadores analógicos, poderão ser posicionadas lado a lado. Sobre esse conjunto é colocada uma tábua, tendo em sua face inferior duas “ripas” de madeira, posicionadas individualmente, na posição central de cada balança (fig.6). Interpretaremos as indicações das balanças como a força peso (em kilograma-força) aplicada pelo pé ao solo, com orientação vertical e sentido de cima para baixo.



**Figura 6 - sistema utilizado na parte experimental**

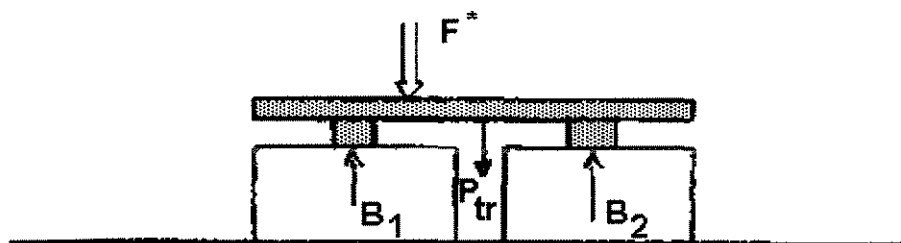
As balanças e seus mostradores serão filmados durante a execução do salto. A localização do ponto de aplicação da Força Resultante do pé sobre o solo ( $F^*$ ), poderá, assim, ser calculada através dos valores indicados pelas duas balanças.

Considerando desprezível o movimento vertical da tábua, o sistema de medição se mantém em equilíbrio estático e a somatória das forças e dos torques, em relação a um eixo, é igual a zero.

Adotaremos um eixo horizontal perpendicular ao plano da figura 8 localizado na extremidade da tábua ( $x=0$ ). A análise das forças será unidimensional, considerando apenas os componentes verticais das forças.

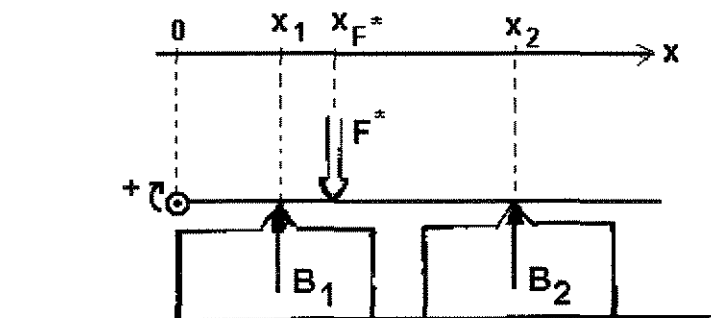
Definimos como parte do sistema o conjunto tábua-ripa (fig. 7). Nessa parte podemos identificar quatro forças: a resultante da força aplicada pela planta do pé sobre a tábua ( $F^*$ ), que tem a mesma localização e o mesmo módulo da resultante da força de reação da tábua sob a planta do pé, a força

peso da tábua e ripas ( $P_{tr}$ ), e as forças de reação das duas balanças sobre o sistema ( $B_1$  e  $B_2$ ).



**Figura 7 - Representação das forças atuando sobre o sistema**

Inicialmente, para eliminar o efeito do peso do sistema tábua-ripa (tara), zeramos os marcadores das duas balanças. Assim, para o equacionamento tanto das forças quanto dos torques, o sistema a ser adotado fica esquematizado conforme a figura 8.



**Figura 8 - Representação completa das forças atuando no sistema com o indivíduo**

Conforme a figura acima os equacionamento ficam da seguinte maneira.

Somatória das forças igual a zero:

$$\Sigma F = 0$$

$$B_1 + B_2 - F^* = 0$$

$$F^* = B_1 + B_2 \quad [1]$$

Somatória dos torques igual a zero:

$$\Sigma \tau = 0$$

$$-X_1B_1 - X_2B_2 + X_{F^*}F^* = 0$$

$$X_{F^*} = \frac{X_1B_1 + X_2B_2}{F^*} \quad [2]$$

Aplicando a equação [1] em [2], obtemos uma nova equação [3] que através da indicação das variáveis  $B_1$  e  $B_2$  em cada instante de tempo, nos possibilita calcular a localização do ponto ( $X_{F^*}$ ) de aplicação da força resultante do pé aplicada ao solo ( $F^*$ ) e conseqüentemente da força de reação do solo sobre o indivíduo ( $F$ ).

$$X_{F^*} = \frac{x_1B_1 + x_2B_2}{B_1 + B_2} \quad [3]$$

Aproveitando das indicações das balanças obtemos ainda o módulo da Força Resultante do Pé aplicada ao Solo ( $F^*$ ). Lembramos que este exemplo

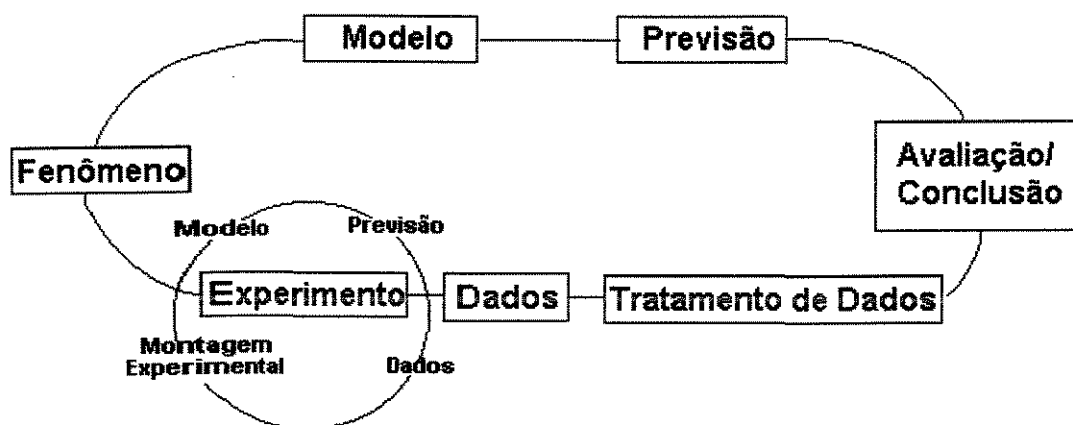
não apresenta precisão para utilização em pesquisa, no entanto, ilustra os conceitos mecânicos envolvidos.

Através desse sistema, pode-se viabilizar a manifestação do fenômeno em situação de laboratório, numa situação controlada. O acesso às informações sobre o fenômeno é facilitado sem, no entanto, descaracterizá-lo.

Seguindo as etapas do ciclo do método científico, representado na figura 2, nesta etapa chegamos até o experimento, cuja tarefa era medir a localização da Força de Reação do Solo. Como não havia um aparelho próprio para essa finalidade, criamos um método indireto utilizando a técnica das duas balanças.

Note que esse método indireto, apesar de ser desenvolvido na etapa experimental, inclui uma vertente analítica com um modelo e previsões, garantidas pela mecânica, e a vertente empírica com montagem experimental e dados coletados via vídeo.

Isso nos mostra o quanto o método científico é flexível dentro da sua estruturação. Em cada fase é possível o aparecimento de sub-ciclos (fig. 9 )



**Figura 9 - Esquema do Método Científico e do sub-ciclo da parte experimental**

#### 4.3.2 Os dados experimentais

Durante a realização do experimento, as informações a respeito do fenômeno são coletadas e estão diluídas no meio dos dados experimentais (BRENZIKOFER, 1997). Os dados experimentais são resultados do processo de medição.

Como a medição das variáveis selecionadas ocorre no sistema experimental, os dados podem trazer consigo informações influenciadas pelas condições ambientais, pelos procedimentos do próprio pesquisador e pelas características da montagem experimental (se for o caso de sua utilização).

Portanto, os dados não podem ser encarados apenas como números, mas como uma fonte rica, cedida pela natureza, a ser explorada pelo pesquisador.



Assim, o primeiro procedimento que se toma, à medida que os dados são obtidos, é registrá-los. Os dados poderão ser tanto quantitativos (numéricos) quanto qualitativos, expressos em conceitos registrados.

No caso do registro de dados numéricos, esses são organizados em tabela, a qual deve conter todas as especificações da variável medida: identificação, unidade, valor e incerteza associada.

A seguir, apresentamos a tabela de dados relativa ao experimento do salto.

#	t [s]	b1 [kg]	b2 [kg]	$x_F$ [cm]	$F^*$ [Kg]
		$\Delta b1=0.5$ [kg]	$\Delta b2=0.5$ [kg]		
1	0	30	55	31.32	85
2	0.03	30	55	31.32	85
3	0.07	30	55	31.32	85
4	0.10	29	56	31.63	85
5	0.13	28	57	31.94	85
6	0.17	28	57	31.94	85
7	0.2	28	57	31.94	85
8	0.23	28	57	31.94	85
9	0.27	28	57	31.94	85
10	0.30	27.5	57.5	32.09	85
11	0.33	27	58	32.24	85
12	0.37	26	58	32.46	84
13	0.40	24	59	32.98	83
14	0.43	21	59	33.68	80
15	0.47	20	60	34.00	80
16	0.50	18	60	34.50	78
17	0.53	17	61	34.83	78
18	0.57	16	63	35.23	79
19	0.60	15	65	35.63	80
20	0.63	15	68	35.80	83
21	0.67	14	70	36.17	84
22	0.7	12	71	36.74	83
23	0.73	10	72	37.33	82

#	t [s]	b1 [kg]	b2 [kg]	$x_F$ [cm]	$F^*$ [Kg]
		$\Delta b1=0.5$ [kg]	$\Delta b2=0.5$ [kg]		
24	0.77	9	70	37.54	79
25	0.80	9	68	37.46	77
26	0.83	9	64	37.30	73
27	0.87	9	61	37.16	70
28	0.90	9	60	37.11	69
29	0.93	9	60	37.11	69
30	0.97	10	60	36.79	70
31	1.00	12	59	36.11	71
32	1.03	17	57	34.53	74
33	1.07	22	58	33.35	80
34	1.10	28	60	32.23	88
35	1.13	34	62	31.29	96
36	1.17	42	63	30.10	105
37	1.20	55	60	28.07	115
38	1.23	70	51	25.46	121
39	1.27	67	50	25.61	117
40	1.30	104	30	20.32	134
41	1.33	107	24	19.26	131
42	1.37	108	24	19.23	132
43	1.40	113	26	19.36	139
44	1.43	120	32	19.97	152
45	1.47	127	40	20.73	167

### 4.3.3 Tratamento dos dados experimentais

Geralmente os dados experimentais obtidos não permitem ao pesquisador extrair conclusões diretas sobre a qualidade do modelo desenvolvido, nem mesmo realizar a comparação com as previsões deduzidas analiticamente.

O tratamento de dados aparece, nesse contexto, como uma série de procedimentos para auxiliar o pesquisador na extração das informações na linha de investigação do fenômeno, para que o confronto final do ciclo seja possível de ser realizado. O tratamento dos dados deve, assim, manter uma conexão com a previsão gerada na vertente analítica.

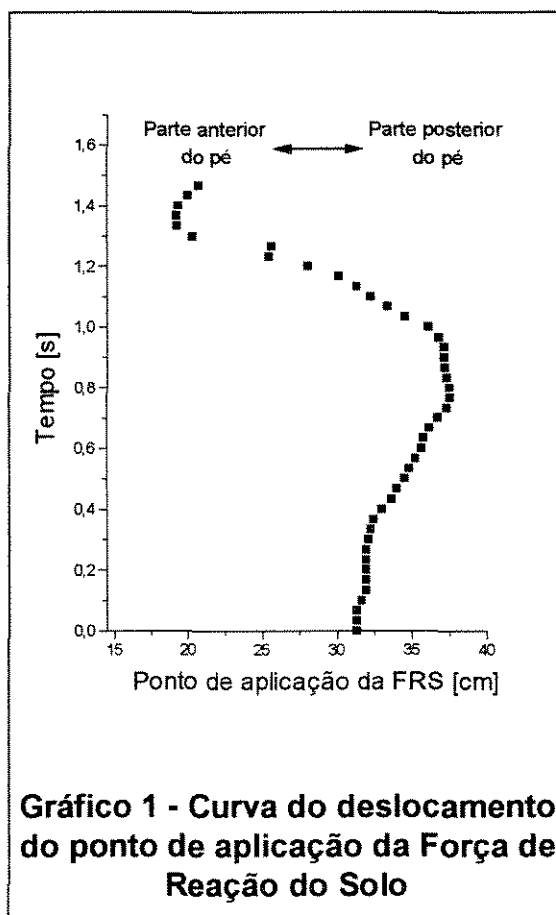
As ferramentas utilizadas para esses propósitos pertencem às áreas de matemática e de estatística e se procedem através das análises algébricas e gráficas. Isso é muito comum nos casos em que o modelo deduzido e a previsão gerada se expressam matematicamente. No entanto, mesmo que o modelo e a previsão sejam conceituais, os dados e o seu tratamento poderão ser quantitativos.

Tomando o exemplo do salto em distância, pode-se observar que a interpretação dos dados, a ser realizada pelo pesquisador, estará centrada na análise quantitativa da posição do ponto de aplicação da Força de Reação do Solo ao longo do tempo, durante os primeiros procedimentos mecânicos

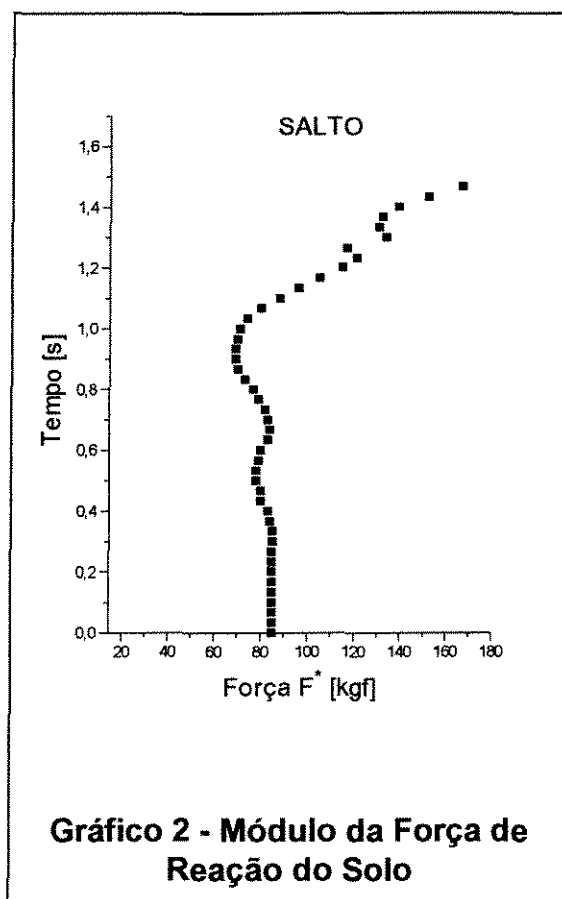
tomados pelo indivíduo, apesar de o modelo e de a previsão serem de natureza conceitual.

Na análise do exemplo do salto em distância, o pesquisador pode verificar o comportamento da força de reação do solo, através de um gráfico, entre as variáveis posição e tempo ( gráf. 1). Em seguida, aproveitamos para apresentar o gráfico do módulo da força de reação do solo durante a execução do salto. (gráf. 2).

Observa-se, no gráfico 1, que, inicialmente, o ponto de aplicação da Força de Reação do Solo localiza-se aproximadamente na posição medial do pé (~31 cm), uma vez que a origem do sistema de medição foi definida no extremo da tábua. Observa-se que os valores da posição da Força de Reação do Solo crescem em função do tempo, o que caracteriza o seu deslocamento em direção ao calcanhar. Após, com o movimento do indivíduo em rotação para frente, ocorre o contrário: os valores decrescem, caracterizando o deslocamento da Força de Reação do Solo em direção à parte anterior do pé, cuja consequência é a realização do salto propriamente dito.



No Gráfico 2 apresentamos o módulo da força de reação do solo aplicado aos pés em função do tempo. Observa-se que entre 0 e 0,4 [s] a força mantém-se constante, o que corresponde ao intervalo de tempo em que o indivíduo está numa posição ereta. No intervalo de 0,4 [s] a aproximadamente 1,0 [s] observa-se uma pequena variação do módulo da força, simultâneo ao processo de deslocamento do ponto de aplicação da força de reação em direção ao calcanhar. Há inclusive uma redução do módulo da Força de Reação do Solo devido ao "abaixar" momentâneo do centro de massa do indivíduo. Após o 1,0 [s] a força de reação começa a se deslocar para a esquerda (gráf. 1), aumentando o seu valor, o que corresponde à fase em que o indivíduo inicia a execução dos movimentos de impulsão.



#### 4.3.4 A Avaliação/Conclusão

Por fim, o método científico leva o pesquisador a realizar uma avaliação crítica entre a previsão e a análise sobre os dados experimentais. A conclusão dessa avaliação pode tanto confirmar o conjunto do ciclo (modelo, previsão,

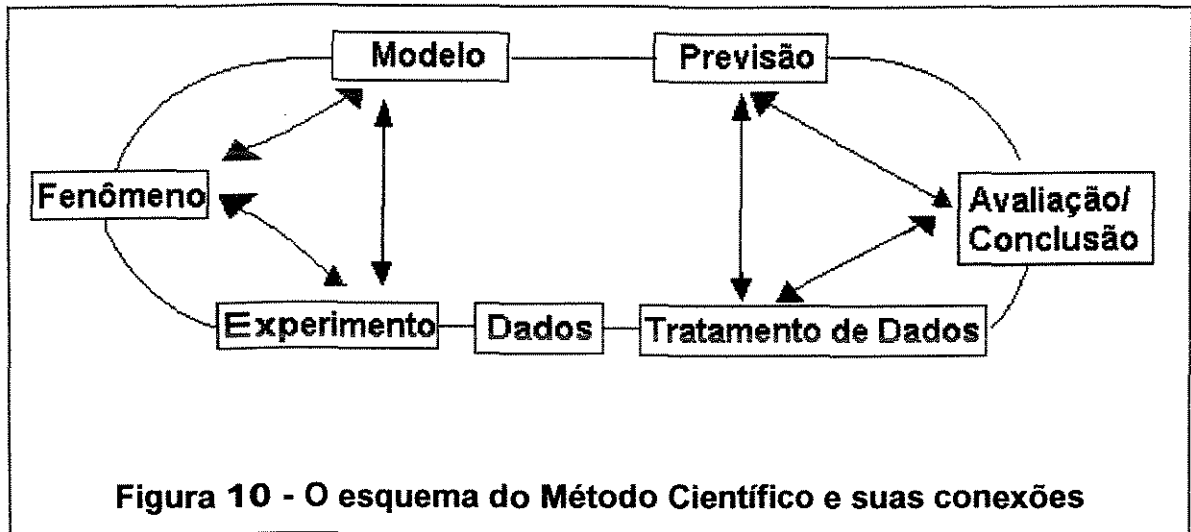
experimento, dados, tratamento dos dados) proposto para o fenômeno, como refutá-lo. Isto é, o ciclo fecha ou não fecha.

No caso positivo, o objetivo da investigação é alcançado e os ingredientes do ciclo estão confirmados. No caso negativo, o pesquisador deverá reavaliar cada passo de cada vertente para verificar onde houve falhas. No entanto, tanto positivo como negativo, o conjunto ensina, acrescenta conhecimento, experiência, organização, capacidade de análise etc.

No exemplo do salto em distância, as previsões geradas na vertente analítica foram verificadas na vertente empírica. Na vertente analítica tínhamos a previsão de que haveria um deslocamento da força de reação do solo para a parte de trás do pé, o foi possível ser constatado posteriormente na vertente empírica com o gráfico do ponto de aplicação dessa força em função do tempo. Com isso, caracteriza-se uma aceitação entre a vertente analítica e a vertente empírica. Assim, o ciclo se fecha.

Como se vê, todas as partes do método científico se comunicam, ou seja, mantêm uma conexão, o que o caracteriza como ciclo. Nesse sentido, podemos identificar duas conexões que precisam ser conservadas: a conexão entre o fenômeno-modelo e o fenômeno-experimento e a conexão entre a previsão-avaliação e o tratamento de dados-avaliação (fig. 10).

A primeira conexão diz que tanto o modelo quanto o experimento devem tratar sobre os mesmos detalhes do fenômeno. Na segunda conexão tanto as previsões quanto o tratamento dos dados devem possibilitar que as informações deles extraídas sejam viáveis de serem confrontadas.



O método científico é uma atitude que precisa ser incorporada pelo pesquisador. É uma maneira de abordar os fenômenos da natureza de forma criteriosa. Quando bem aplicado, o método científico permite a geração de novos conhecimentos com altos níveis de credibilidade. E, para exemplificar a aplicação do método científico, no próximo capítulo apresentaremos sete propostas de atividades experimentais voltadas para a área de Biomecânica.

## **5. Proposta de Atividades Experimentais**

Neste capítulo, apresentamos seis propostas de atividades de ensino a serem executadas no Laboratório Básico de Biomecânica, com o objetivo de:

- treinar a aplicação do método científico;
- treinar conceitos fundamentais da mecânica "básica";
- planejar e executar tarefas experimentais completas, com o uso de montagens experimentais e instrumentos de medida, registro, tratamento e análise de dados experimentais;

Essas atividades são baseadas em experimentos concebidos a partir de fenômenos presentes na prática da área da Educação Física. São eles: 1. Análise cinemática de corredores de alto nível numa prova de 100 metros rasos; 2. Análise cinemática do lançamento de projéteis; 3. Análise dinâmica dos primeiros procedimentos mecânicos de um indivíduo para sair de uma situação estática e realizar o primeiro passo; 4. Análise estática da estrutura do membro superior humano; 5. Análise dinâmica de golpes proferidos pelo braço humano contra um saco de treinamento de boxe; 6. Calibração do medidor de velocidade de um bicicleta ergométrica; 7. Aplicação da conservação do momento angular no movimento de rotação de um corpo.

Não se pretende cobrir o assunto, nem consideramos que são os mais interessantes. Esses devem ser tratados como exemplos de aplicação do método científico.

No entanto, a seqüência dos experimentos é apresentada numa ordem que tem como critério a introdução dos conceitos da mecânica em nível crescente de complexidade. Isto quer dizer, que cada experimento apresentado tem relação com os conceitos e tópicos introduzidos nos experimentos antecedentes.

Neste capítulo, o aluno terá contato com os seguintes conceitos e tópicos: posição, velocidade instantânea, técnicas gráficas, derivadas, decomposição de uma trajetória na direção vertical e horizontal, equação horária que descreve a posição de um corpo no movimento uniformemente acelerado, leis de Newton, força, torque, condições de equilíbrio estático, elementos de geometria e trigonometria, colisão, impulso, momento linear, energia cinética, energia mecânica, conservação de energia mecânica, potência, velocidade angular, efeito estroboscópico, medição de velocidade angular com um disco estroboscópico, momento de inércia, teorema dos eixos paralelos, momento angular, conservação do momento angular.

Salientamos que, paralelo a cada experimento proposto, é importante que o aluno e o professor utilizem algum livro texto de mecânica elementar.

Através dos temas apresentados, cada experimento é estruturado e apresentado a partir do esquema proposto para o método científico. O texto explicativo de cada um contém basicamente: a introdução, contextualizando o objeto de investigação na área de interesse da Educação Física, os objetivos a serem alcançados com a atividades experimental e a descrição de cada passo que compõe o ciclo do método.



Especificamente na introdução, apresentamos também, uma lista dos conceitos a serem tratados durante o experimento, bem como a bibliografia de consulta. Julgamos que tais referências darão mais subsídios aos fundamentos mecânicos estudados e ampliarão o rol de exemplos dirigidos a cada tema tratado.

O laboratório Básico de Biomecânica, visa à realização desses experimentos por acadêmicos do Curso de Graduação de Educação Física.

Nas primeiras aulas de laboratório o método científico é apresentado aos acadêmicos através de aulas expositivas e após, colocado em situação prática através da realização de um experimento (análise do salto - capítulo 4) com acompanhamento do professor da disciplina.

Depois desses momentos, o ciclo do método científico é treinado através do planejamento, execução e relato dos demais experimentos propostos.

No planejamento o acadêmico: realiza pesquisa bibliográfica para o desenvolvimento do modelo, estuda conceitos da mecânica e outros pertinentes ao fenômeno estudado, gera o modelo e as suas previsões, manipula a montagem para entender o seu funcionamento e para prever os cuidados necessários a serem tomados no momento da execução do experimento, determina que instrumentos serão necessários para medir as variáveis, organiza uma tabela para o registro dos dados experimentais e planeja o tratamento de dados.

Na execução o acadêmico: realiza o manejo da montagem para a realização do experimento e utiliza os instrumentos de medida e ferramentas

matemáticas para a coleta e tratamento dos dados experimentais, conforme já planejado.

Todas as atividades, tanto do planejamento quanto da execução, são relatadas pelo aluno, assim que vão sendo desenvolvidas. Dessa forma, o aluno inclui todo o planejamento, a descrição dos procedimentos experimentais, o registro e tratamento dos dados e o confronto entre as previsões geradas e as informações obtidas através da análise dos dados.

O relato é escrito à medida que o trabalho se desenvolve e quando o experimento termina o relato também está pronto.

O desenvolvimento dessas etapas introduzem o acadêmico na aprendizagem do processo de investigação. Na prática, traduz-se em aprender a observar, a investigar e a relatar os fenômenos que o rodeiam.

No entanto, é necessário que além do conhecimento do método científico como ciclo, o acadêmico tenha oportunidade de aprender uma atitude científica. A atitude de realizar cada procedimento com consciência e objetivo.

Essa atitude está revestida por um senso de responsabilidade, dedicação, além de, curiosidade e entusiasmo. Responsabilidade em desenvolver as tarefas propostas para ele e sua equipe, Dedicação em preparar-se antecipadamente para a execução do planejamento e execução das atividades experimentais, Curiosidade em buscar sempre um maior entendimento do fenômeno estudado, e Entusiasmo em realizar qualquer etapa do processo de investigação.

## **5.1 Experimento 1 - análise cinemática de corredores de alto nível numa prova de 100 metros rasos**

### **5.1.1 Introdução**

Na Educação Física, é comum a quantificação de grandezas cinemáticas para descrever e qualificar o movimento humano. Revistas especializadas em esportes trazem reportagens analisando o desempenho de atletas em competições de alto nível, a partir de dados dessa natureza.

Esses dados permitem uma adequação do treinamento, visando ao melhor desempenho do atleta nas provas.

Neste experimento vamos nos deter a esse enfoque de análise de desempenho do atleta. Para tanto, adotar-se-á como objeto de estudo um fenômeno da modalidade de atletismo: uma corrida de 100 metros rasos realizada numa final de campeonato mundial.

Durante a corrida as ações de cada atleta dependerão sobretudo de forças internas, que resultam em contrações de grupos musculares, das condições fisiológicas, que resultam numa maior ou menor capacidade de obtenção de energia mecânica e de forças de origem externa como o peso e a reação do solo.

Neste caso, o objetivo de cada atleta é percorrer os 100 metros no menor tempo possível. Para tanto, vários detalhes podem ser observados: posição de pernas e braços no taco de saída, ângulo do tronco durante a partida, comprimento e frequência das passadas durante o percurso, tempo de reação na saída e posição do corpo na chegada. O resultado da combinação adequada

desses fatores é constatado pelo espectador ao observar o atleta de sua preferência à frente dos demais adversários.

Com dados obtidos da literatura específica da modalidade, relatada na forma de artigo, propomos neste experimento acompanhar a evolução de atletas durante a prova.

Desenvolveremos a vertente empírica do método científico, exclusivamente a etapa de tratamento de dados, uma vez que nesse fenômeno não dispomos de modelos ou previsões.

Para a realização dessa etapa utilizaremos conceitos mecânicos ligados à cinemática. Descreveremos o movimento de atletas a partir das suas posições e velocidades em função do tempo, representados graficamente.

Com o gráfico da posição em função do tempo, estimaremos as velocidades instantâneas de cada corredor através de um procedimento conhecido como derivação gráfica.

#### BIBLIOGRAFIA:

- TABACHNIK, Bem. La preparazione pluriennale dei velocisti. ATLETICASTUDI. Roma, v.22, n.3/4, p.61-129, mag.-ago., 1991.
- TIPLER, P.A. Física. Volume 1, Cap. 2, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1991.

#### 5.1.2 Objetivos

- Acompanhar a evolução da posição de cada atleta ao longo da prova de 100 m rasos do atletismo e comparar o desempenho de cada um através de uma análise cinemática.

### 5.1.3 Fenômeno

A corrida de 100m rasos na final de um campeonato mundial de atletismo, como relatado no artigo “La preparazione pluriennale dei velocisti” da Revista italiana ATLETICASTUDI, (TABACHNICK, 1991).

Conforme o artigo, oito atletas disputaram a final da prova de 100m rasos do Campeonato Mundial de Atletismo, ocorrido em Tóquio, no ano de 1991. Seus tempos parciais, foram registrados de 10 em 10 metros.

### 5.1.4 Dados

A tabela abaixo contém os dados relativos ao tempo de cada atleta registrados de 10 em 10 metros. No artigo a incerteza relativa ao tempo ( $\Delta t$ ) era igual a 0,02 [s]

		Lewis	Burrell	Mitchell	Christie	Fredericks	Stewart	da Silva	Suryn
#	s [m]	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	1,88	1,83	1,80	1,85	1,86	1,88	1,91	1,88
3	20	2,96	2,89	2,87	2,91	2,92	2,88	2,97	2,95
4	30	3,88	3,80	3,80	3,83	3,84	3,79	3,90	3,87
5	40	4,77	4,68	4,68	4,72	4,73	4,68	4,79	4,77
6	50	5,61	5,55	5,55	5,57	5,60	5,54	5,67	5,66
7	60	6,46	6,41	6,42	6,43	6,47	6,41	6,56	6,56
8	70	7,3	7,28	7,28	7,29	7,33	7,29	7,45	7,44
9	80	8,13	8,12	8,14	8,14	8,18	8,10	8,32	8,31
10	90	9,00	9,01	9,02	9,04	9,07	9,06	9,22	9,22
11	100	9,86	9,88	9,91	9,92	9,95	9,96	10,12	10,14

### 5.1.5 Tratamento dos Dados

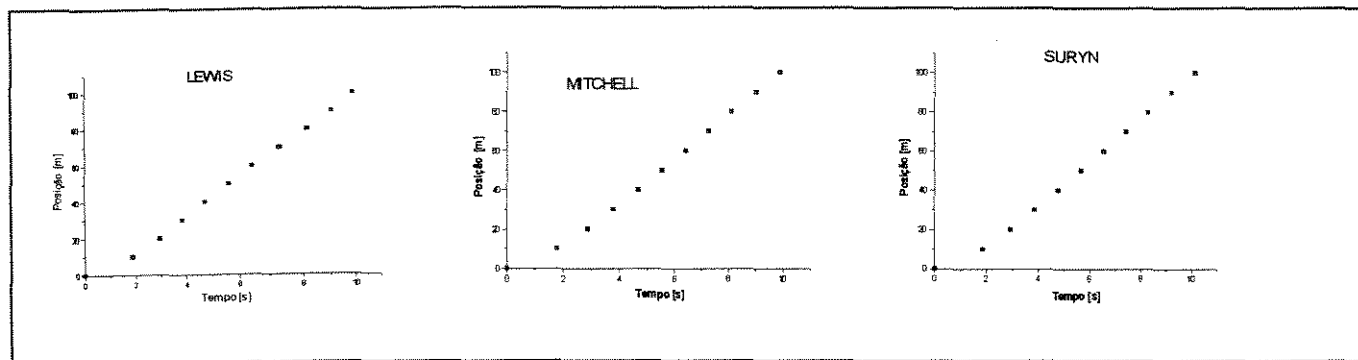
A partir dos dados coletados, podemos inicialmente observar os números registrados na tabela. Podemos identificar, de imediato, o desempenho final dos atletas na prova e suas colocações, basta verificarmos qual atleta percorreu os

100 metros no menor tempo. Podemos verificar também, em alguns momentos da prova qual a posição deles.

No entanto, para acompanhar a evolução dos atletas ao longo do tempo, a tabela é inadequada. Nos espaços intermediários entre cada medida realizada, há instantes sem dados sobre a posição do atleta e o tempo correspondente, o que provoca uma descontinuidade da informação. Em termos de velocidade e aceleração podemos apenas calcular seus valores médios.

Neste fenômeno, como em muitos outros, é interessante redescobrirmos a relação completa entre as variáveis a partir dos dados discretos, ou seja, a partir da informação fragmentada. Este é um dos objetivos do tratamento de dados. Seria interessante também calcularmos as velocidades e acelerações instantâneas de cada atleta.

Uma forma de apresentar as características das variáveis de interesse do fenômeno é a apresentação em forma de gráfico. Assim, representaremos graficamente a posição em função do tempo correspondente, para possibilitar uma melhor visualização do fenômeno. Neste experimento, desenharemos gráficos com os dados de três atletas (Lewis, Mitchell e Suryn), para então desenvolvermos a análise do fenômeno.



**Gráfico 3 - Gráficos com pontos discretos de três corredores na pista em função do tempo**

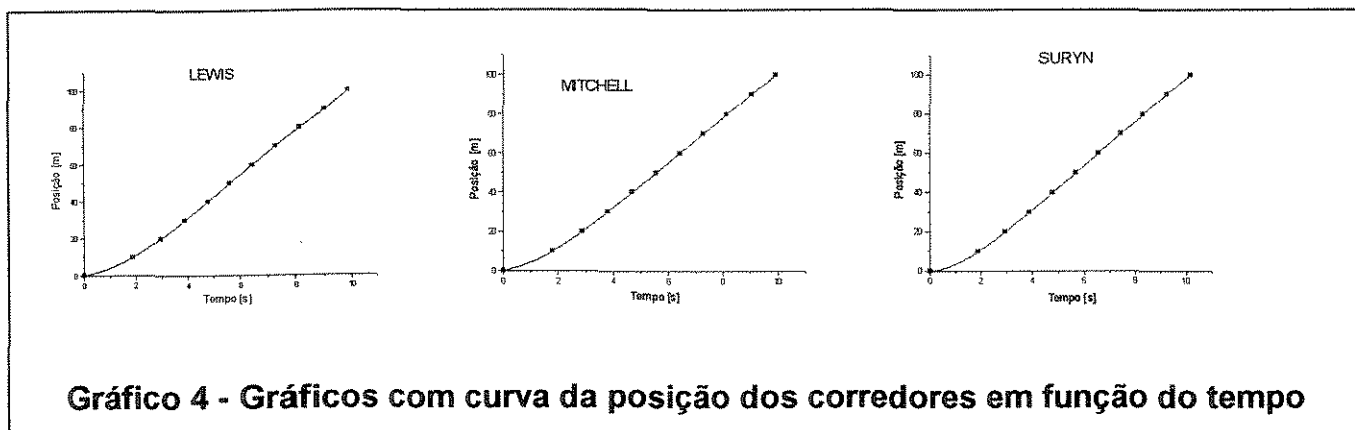
No gráfico 3 foram colocados apenas os dados da tabela. Observa-se que temos apenas informações discretas de cada um dos três atletas, como havíamos detectado pela tabela. Continua existindo uma descontinuidade tanto em relação à posição, quanto em relação ao tempo correspondente durante a prova, que agora parece mais visível no conjunto.

Apesar do número de dados coletados ser pequeno, procuramos obter uma curva contínua que melhor represente o percurso de cada atleta. Isto é, procuramos representar no gráfico o que acontece entre os pontos definidos a partir da tabela.

Existem diversas maneiras de representar o fenômeno como função contínua. Uma dessas maneiras seria desenhar um gráfico por interpolação linear, ligando os pontos por segmentos de reta. Observamos que desta forma aparecem "bicos" em cada ponto medido, o que não esperamos do fenômeno. Isso garantiria a continuidade em termos da posição e do tempo, no entanto,

não resolveria a questão da continuidade da velocidade dada pela primeira derivada, como nós veremos mais adiante.

Procurando se adequar mais à realidade, sugerimos ajustar uma curva contínua e "suave" para representar o fenômeno de maneira compatível com os dados medidos. A decisão do tipo de curva pode ser empírica usando o bom senso, a experiência ou baseando-se em considerações teóricas ou modelo (gráf. 4).



Da função ajustada, pode-se extrair os valores das velocidades e acelerações instantâneas por derivadas. Neste experimento, limitaremos nossa análise à velocidade instantânea ( $V$ ), que obteremos por derivação gráfica.

A velocidade instantânea é conceituada como o limite da razão entre o deslocamento ( $\Delta x$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), à medida que esse intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) tende a zero.

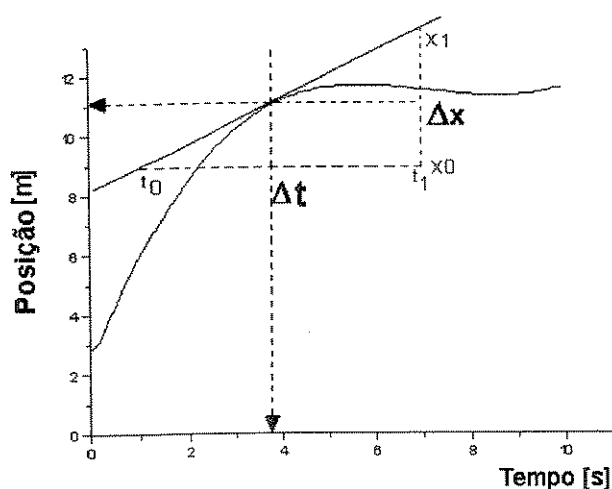
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$



Essa expressão é também definida como a derivada de  $x$  em relação a  $t$ , e é escrita como:

$$v = \frac{dx}{dt}$$

A derivada gráfica é conceituada como o coeficiente angular da reta tangente em um ponto considerado sobre a curva. A técnica para calcular o coeficiente angular da reta é executada da seguinte maneira: 1º - escolhemos o ponto (fig.11), sobre uma das curvas apresentadas acima, para o qual se pretende obter a derivada, 2º - sobre este mesmo ponto traçamos uma reta tangente à curva, 3º - sobre a reta selecionamos dois pontos (fig.11) e realizamos um quociente entre as diferenças das suas coordenadas verticais e horizontais, 4º - o valor encontrado é o coeficiente angular da reta ( $a$ ) que por sua vez é a velocidade instantânea ( $V$ ) do atleta no ponto considerado sobre a curva. Essa técnica poderá ser melhor observada no exemplo a seguir:



( $x_1$ ) = coordenada posição relativa ao ponto 1  
 ( $x_0$ ) = coordenada posição relativa ao ponto 0  
 ( $t_1$ ) = coordenada tempo relativa ao ponto 1  
 ( $t_0$ ) = coordenada tempo relativa ao ponto 0  
 ( $V$ ) = velocidade instantânea

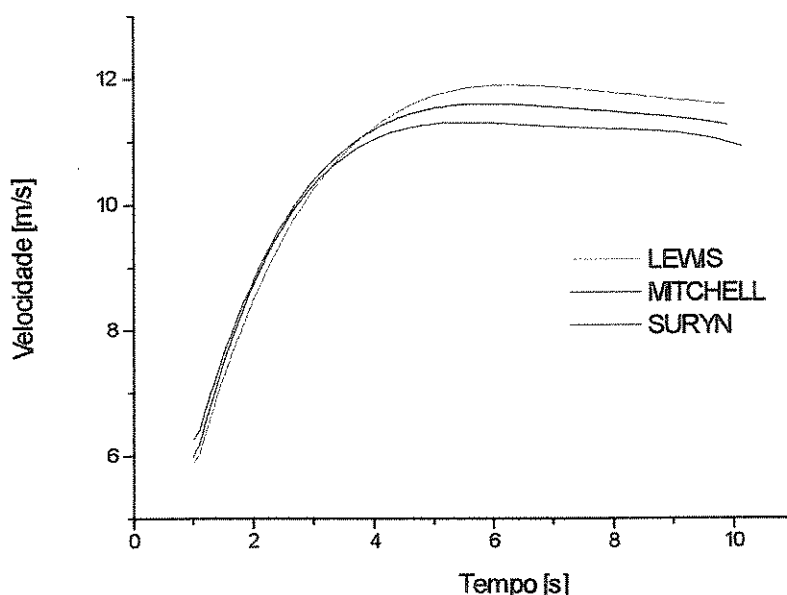
$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \quad [4]$$

Figura 11 - Exemplo do cálculo da derivada em  $t = 3,86$  [s]

Com esses cálculos, pode-se construir um gráfico das velocidades em função do tempo (gráf. 5) e, assim, analisar o fenômeno descrito:

Analisando as velocidades dos atletas no gráfico 5, observamos que:

- a) as velocidades durante a prova não são constantes;
- b) a partir da posição inicial, parada, até os 3,4 [s], praticamente os três atletas apresentam o mesmo valor de velocidade, para cada instante de tempo;



**Gráfico 5 - Velocidade dos três corredores em função do tempo**

c) a partir dos 3,4 [s] os três atletas se diferenciam, mas continuam aumentando suas velocidades chegando aos seus máximos nos tempos abaixo apresentados:

- Lewis: 6,19 [s] com 11,9 [m/s],

- Mitchell: 6,13 [s] com 11,6 [m/s],

- Suryn: 5,52 [s] com 11,3 [m/s];

e) Após esses tempos os três atletas começam a diminuir suas velocidades.

Lembramos que, uma posterior análise poderia ainda ser realizada a partir do cálculo da aceleração instantânea.

Os gráficos foram construídos através de programas adequados para essa finalidade. No entanto, lembramos também que os procedimentos apresentados nesse experimento poderão ser executados manualmente.

Apesar de podermos realizar o tratamento de dados, analisando e comparando o desempenho de cada um dos atletas durante a prova, esse experimento teve como proposta o desenvolvimento da etapa de tratamento de dados na investigação científica. Desta forma, não tínhamos o ciclo do Método Científico por completo.

## **5.2 Experimento 2 - análise cinemática do lançamento de projéteis**

### **5.2.1 Introdução**

Nos esportes, uma informação de interesse na execução das técnicas de lançamento é a trajetória descrita pelo implemento.

No handebol, a trajetória da bola de um lançamento à longa distância, executado pelo goleiro no caso de um contra-ataque, diferencia-se da trajetória da bola do arremesso ao gol, executado por um jogador no ataque.

No beisebol, a trajetória da bola, ao ser arremessada, dependerá de fatores tais como a resistência do ar e a altura na zona de rebatida onde o arremessador deseja colocar a bola (HALL, 1993).

No voleibol, por exemplo, a trajetória da bola é explorada através da execução de diferentes tipos de saques, dependendo da tática a ser aplicada no jogo. A visualização da trajetória da bola por quem executa a recepção é mais definida no caso do saque por baixo do que no caso do saque flutuante. Sobre esse assunto, DEPRÁ & BRENZIKOFER (1997) apresentam um estudo sobre o comportamento de bolas de voleibol quando são lançadas em diferentes tipos de saques.

No atletismo, a trajetória do peso arremessado pelo atleta tem velocidades relativas ao ar mais baixas e o atrito (força de arrasto) desprezível em relação ao peso e à inércia do implemento arremessado.

Entre os exemplos que destacamos nos esportes existem ainda aqueles nos quais a trajetória apresentada não é mais de um implemento mais à do

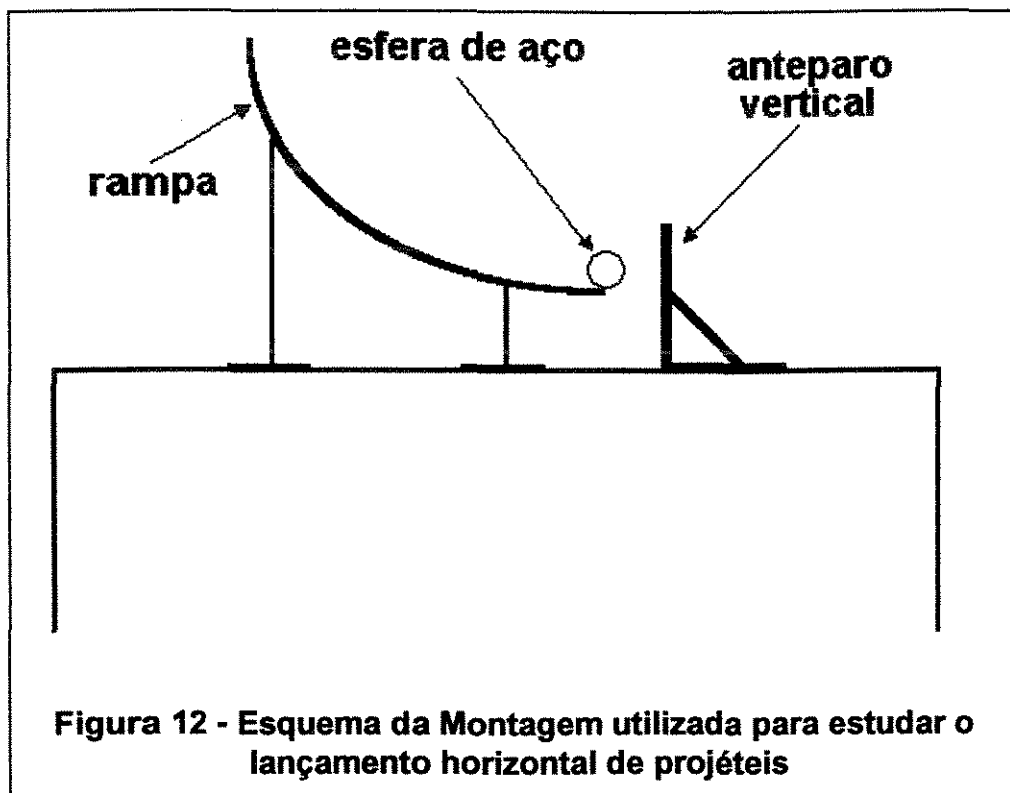
corpo do atleta. Como exemplo, temos os casos, do salto ornamental no qual o atleta após um impulso recebido do trampolim é lançado em trajetória no ar e, do atleta durante a prova de salto em distância, após ter tocado a tábua de impulsão.

Como pode-se perceber, o conhecimento da trajetória, de um implemento ou do corpo humano é um assunto importante para a área da Educação Física.

Essas trajetórias são identificadas em certas condições onde o corpo ou o implemento se apresenta em movimento no ar, sem nenhum outro contato externo. Em certos casos, o atrito é desprezível, principalmente quando as velocidades consideradas são baixas. Estas situações são chamadas de queda livre.

O que estamos propondo neste experimento é o estudo de um tipo de trajetória em situação passível de reprodutibilidade. Estudaremos a trajetória de uma esfera de aço.

A situação escolhida é uma ilustração fora de escala dos exemplos acima expostos. Para garantir a reprodutibilidade serão executados múltiplos lançamentos horizontais em iguais condições iniciais: direção, sentido e velocidade.



Vamos adotar uma montagem experimental constituída de uma rampa de lançamento com saída horizontal (fig. 12). Os sucessivos lançamentos serão interrompidos por um anteparo de madeira em posições diferentes ao longo da trajetória e a posição correspondente à interrupção, registrada.

Para cada posição do anteparo poderemos analisar as coordenadas horizontais e verticais da esfera. Nesse procedimento é que se torna importante a questão da reprodutibilidade, pois através dela se garante que todos os lançamentos estarão em iguais condições.

Neste experimento vamos considerar alguns aspectos envolvidos na análise do movimento de projéteis.

Nessa análise consideraremos os seguintes tópicos:

- Decomposição da trajetória na direção vertical e horizontal,
- Equação horária que descreve a posição de um corpo no movimento uniformemente acelerado,
- Segunda Lei de Newton,
- Força

#### BIBLIOGRAFIA:

- BRANCAZIO, Peter J. Physics of basketball. American Journal of Physics. V. 49, n.4, p.356-365, April, 1981.
- DEPRÁ, Pedro Paulo & BRENZIKOFER, René. Modelos para detecção e quantificação da “crise de arrasto” em saques de vôlei. Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- FROHLICH, Cliff. Aerodynamic effects on discus flight. American Journal of Physics. V.49, n.2, p. 1125-32.
- HALL, Suzan. Biomecânica Básica. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1993.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica Cap.4. 2ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- SEARS & ZEMANSKI. Física. Cap.6. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.
- TAN, A & MILLER, G. Kinematics of free throw in basketball. American Journal of Physics. V.49, n.6, p.542-4, June, 1981.

#### 5.2.2 Fenômeno

Uma esfera de aço é abandonada a partir de uma certa posição da rampa, acima da superfície da mesa, e lançada horizontalmente.

### 5.2.3 Linha de Investigação

Analisar a trajetória da esfera.

### 5.2.4 Objetivos

- Medir e caracterizar a trajetória da esfera;
- Determinar a velocidade inicial de lançamento.

### 5.2.5 Modelo

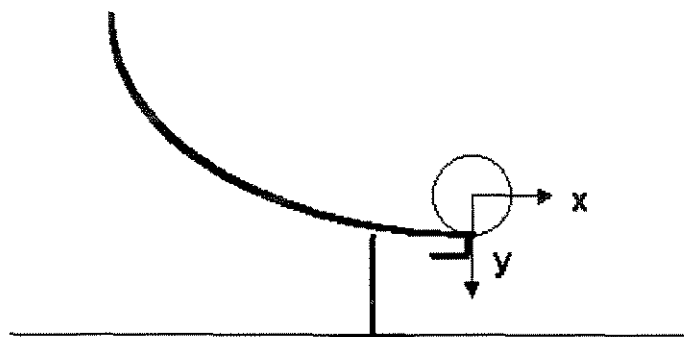
As variáveis necessárias para descrever o fenômeno, em termos da descrição da trajetória da esfera de aço, dizem respeito à sua posição tanto na direção horizontal quanto na vertical.

No entanto, vamos, inicialmente, descrever as forças que agem sobre a esfera em lançamento, para assim determinar um modelo para o estudo.

Escolhamos um sistema de referência ( $x$  e  $y$ ) com a origem situada no centro de massa da esfera, especificamente no momento em que ela está projetada para fora da rampa, onde se inicia o lançamento horizontal (fig. 13).

Na direção vertical ( $y$ ), a esfera sofre a ação de duas forças: a gravidade e o arrasto, sendo que na direção horizontal ( $x$ ) somente há a ação da força de arrasto.





**Figura 13 - Sistema de Referência adotado para estudar a trajetória da esfera**

A magnitude da força de arrasto, que é uma força de resistência do ar, depende da forma da esfera, da densidade do ar e da própria velocidade da esfera. Considerando, que em situação de laboratório, a velocidade da esfera é pequena e que as outras grandezas se mantêm constantes vamos desprezar a força de arrasto.

Assim, a componente  $x$  da força, que atua na esfera durante a queda, é nula, pois na direção horizontal não há componente da força peso. Sendo a componente  $x$  nula, temos que a aceleração também é nula, caracterizando, assim, um movimento da bola em velocidade constante.

A componente  $y$  da força passa a ser o peso da esfera, uma vez que a força de arrasto também foi desconsiderada. Assim, a aceleração não é nula e é a aceleração da gravidade que é constante, caracterizando um movimento uniformemente acelerado.

Observando as descrições acima, das forças nas duas direções (horizontal e vertical), vemos que o movimento da esfera, no lançamento

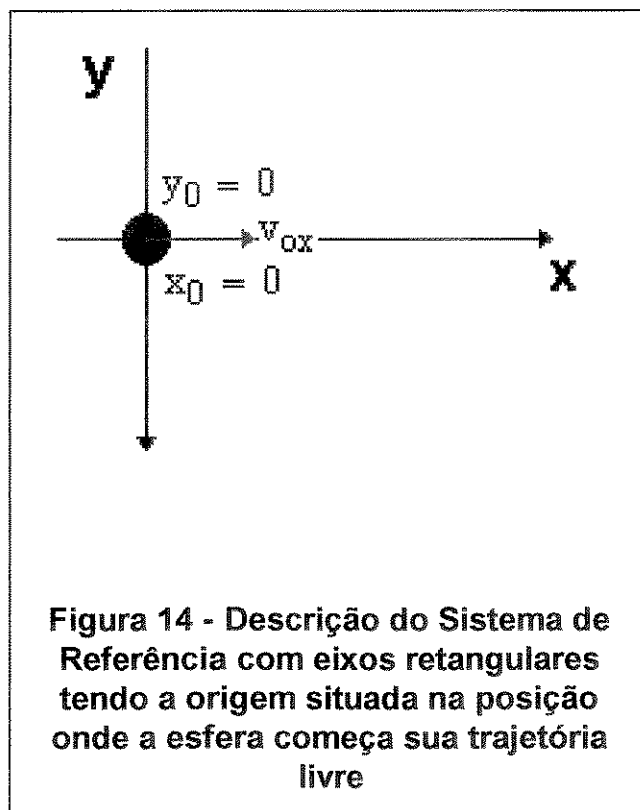
horizontal, é composto de um movimento horizontal com velocidade constante e um movimento vertical com aceleração constante.

Desta forma, podemos utilizar as equações que descrevem a posição de um corpo em função do tempo no movimento uniformemente acelerado e adequá-la aos dois tipos de movimentos. Utilizaremos também a descrição da figura 14.

$$x = v_{0x} t$$

$$y = v_{0y} t + \frac{1}{2} a t^2 ; v_{0y} = 0 \text{ (lançamento horizontal) e } a = g$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$



Assim, Obtemos duas expressões para o movimento do projétil:

$$1^{\circ} - \text{dimensão horizontal: } x = v_{0x} t \quad [5]$$

$$2^{\circ} - \text{dimensão vertical: } y = \frac{g}{2} t^2 \quad [6]$$

As duas expressões deduzidas foram definidas para a mesma esfera num mesmo instante de tempo. Combinando essas duas expressões, (5) e (6), obtemos um modelo para a trajetória da esfera, que relaciona a posição vertical com a posição horizontal da esfera durante a trajetória de queda livre.

$$x = v_{0x} t$$

$$t = \frac{x}{v_{0x}}$$

$$y = \frac{g}{2} t^2$$

$$y = \frac{g}{2} \left( \frac{x}{v_{0x}} \right)^2$$

$$y = \frac{g}{2v_{0x}^2} x^2$$

[ 7 ]

### 5.2.6 Previsão

Através do modelo proposto, verifica-se que a trajetória prevista é parabólica. Assim, construindo um gráfico de "y" versus "x" obteríamos uma parábola.

No entanto, para simplificar a nossa análise e obtermos informações para a avaliação final desse experimento podemos realizar uma linearização. Ou

seja, construindo um gráfico de  $y$  em função de  $x^2$ , a figura prevista passa a ser uma reta com coeficiente angular igual a  $\frac{g}{2v_{ox}^2}$  e coeficiente linear igual a zero.

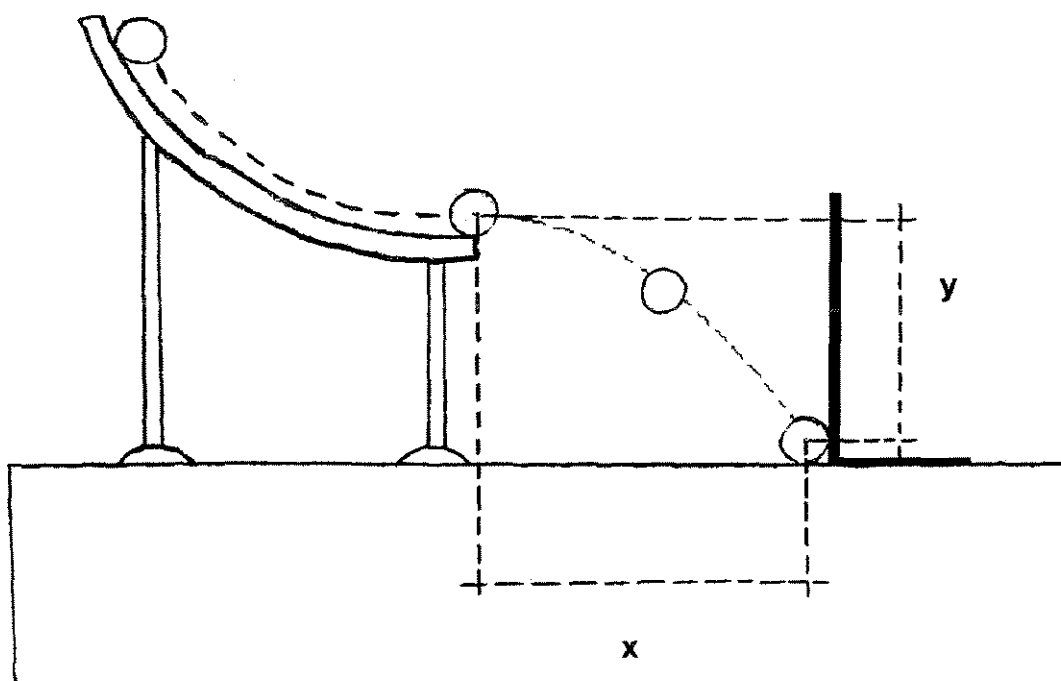
Os coeficientes linear e angular são parâmetros calculados a partir da reta desenhada no gráfico. O coeficiente linear é o ponto onde a reta toca o eixo vertical do gráfico e o coeficiente angular é o valor da inclinação da reta.

Esta é uma forma de verificarmos através de uma reta se realmente a trajetória é parabólica e determinarmos o valor de  $v_{ox}$ .

### 5.2.7 Experimento

Ao realizar o experimento, deverão ser tomados alguns cuidados para que as hipóteses do modelo sejam respeitadas na montagem experimental:

- 1) A rampa deverá ser ajustada de tal forma que sua saída esteja horizontal;
- 2) As informações a respeito da posição horizontal e da posição vertical devem ser medidas a partir do centro da esfera (fig. 15);
- 3) Determinar uma posição fixa na rampa para posicionar a esfera para o lançamento;



**Figura 15 - Sistema de Referência para medição da posição horizontal e vertical da esfera durante a trajetória**

#### **5.2.8 Dados**

Os dados coletados referem-se à posição vertical e horizontal da esfera durante a trajetória e, para tanto, utilizou-se um anteparo de madeira. Após três lançamentos da esfera para cada posição horizontal do anteparo, os dados foram registrados em tabela.

Através da posição horizontal do anteparo, extraíram-se as coordenadas horizontais da esfera ( $x$ ). Mesmo tendo a esfera colidido com o anteparo com a sua extremidade (fig.15), a medida da sua coordenada horizontal ( $x$ ) era considerada a partir do seu centro. Através das marcas das esferas sobre o anteparo de madeira extraíram-se as coordenadas verticais ( $y$ ). Para cada

coordenada horizontal (x) obtivemos três coordenadas verticais (y). Dessas coordenadas verticais extraiu-se posteriormente a média ( $\langle y \rangle$ ).

A incerteza sobre a coordenada ( $\Delta \langle y \rangle$ ) foi calculada pelo desvio-padrão (s) da média:

$$\Delta \bar{y} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Para a construção do gráfico previsto, precisamos obter além da coordenada vertical (y), também o quadrado da coordenada horizontal ( $x^2$ ).

A incerteza sobre  $x^2$  ( $\Delta x^2$ ) foi calculada através da equação de propagação de erro, onde  $\Delta x$  refere-se à incerteza associada à medida da coordenada horizontal (x).

$$f(x) = x^2$$

$$\frac{df}{dx} = 2x$$

$$\Delta x^2 = 2\Delta x(x)$$

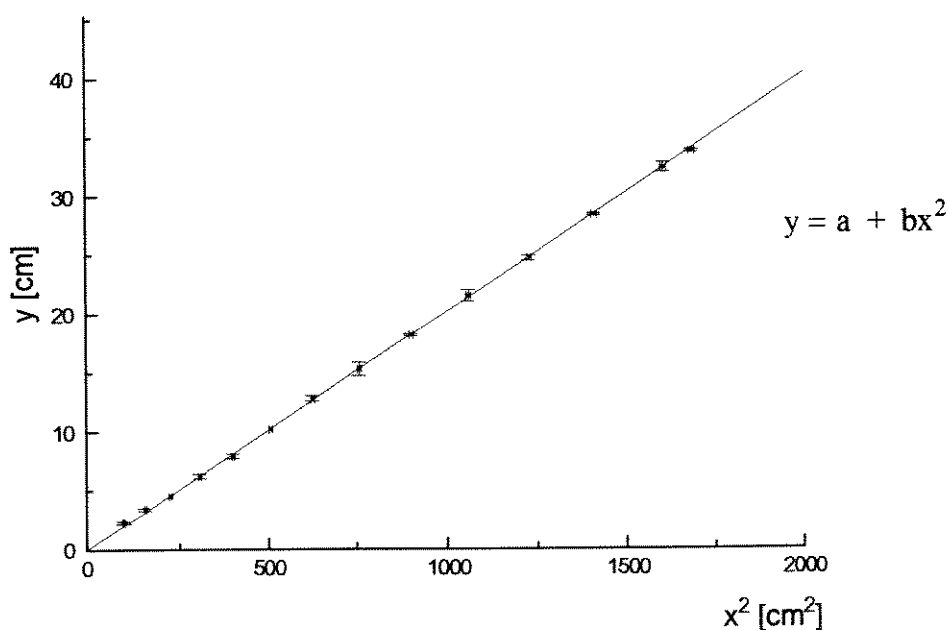
### ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE UMA ESFERA

#	x[cm]	$x^2[\text{cm}^2]$	y <sub>1</sub> [cm]	y <sub>2</sub> [cm]	y <sub>3</sub> [cm]	$\langle y \rangle [\text{cm}]$	$\Delta x^2$	$\Delta \langle y \rangle [\text{cm}]$
	$\Delta x=0,1$		$\Delta y=0,1$					
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	100	2,4	2,1	2,2	2,3	2,0	0,1
3	12,5	156,3	3,3	3,6	3,3	3,4	2,5	0,1
4	15,0	225,0	4,5	4,4	4,5	4,5	3,0	0
5	17,5	306,3	6,1	5,9	6,7	6,2	3,5	0,2
6	20,0	400,0	7,7	7,8	8,2	7,9	4,0	0,2
7	22,5	506,3	10,1	10,2	10,2	10,2	4,5	0
8	25,0	625,0	13,1	12,8	12,5	12,8	5,0	0,2
9	27,5	756,3	15,2	16,3	14,4	15,3	5,5	0,6
10	30,0	900,0	18,2	18,3	18,1	18,2	6,0	0,1
11	32,5	1056,3	21,1	20,9	22,5	21,5	6,5	0,5
12	35,0	1225,0	24,4	24,7	24,9	24,7	7,0	0,2
13	37,5	1406,3	28,2	28,4	28,6	28,4	7,5	0,1
14	40,0	1600,0	32,6	31,7	32,9	32,4	8,0	0,4
15	41,0	1681,0	33,6	33,8	34,0	33,8	8,2	0,1

### 5.2.9 Tratamento dos dados

Através de um gráfico entre a posição vertical ( $y$ ) da esfera e o quadrado da sua posição horizontal, foi possível determinar:

- 1º - que o gráfico é uma reta;
- 2º - que o coeficiente linear é compatível com zero;
- 3º - o valor do coeficiente angular.



**Gráfico 6 - Gráfico de  $y$  versus  $x^2$  mostrando os dados experimentais, a incerteza sobre as variáveis e a reta ajustada.**

### 5.2.10 Avaliação/Conclusão

Através do tratamento de dados, obtêm-se os valores dos coeficientes angular (b) e linear (a) e de suas incertezas:

$$b = 0,0200 \pm 0,0001 \text{ [cm}^{-1}\text{]} \qquad a = 0 \pm 0,06 \text{ [cm]}.$$

Com esses dados, pode-se, então, realizar um confronto final com as previsões geradas na vertente analítica.

Observa-se que o gráfico obtido no experimento corresponde ao previsto, isto é, uma reta com coeficiente linear compatível com zero, o que qualifica o modelo proposto. Em consequência disso, podemos inferir que a trajetória da esfera é parabólica.

Assim, através dos valores obtidos para o coeficiente angular e sua incerteza, pode-se obter o valor da velocidade inicial de lançamento:

$$v_0 = 156,5 \pm 0,8 \text{ [cm.s}^{-1}\text{]}.$$



### 5.3 Experimento 3 - análise dinâmica dos primeiros procedimentos mecânicos de um indivíduo para sair de uma situação estática e realizar o primeiro passo

#### 5.3.1 Introdução

Assim como a corrida, o salto e o arremesso, a marcha é um movimento natural apresentado pelo homem. Apesar de aos nossos olhos, parecer tão simples, ela é um movimento desencadeado a partir de uma complexa conexão formada entre o sistema nervoso central e o sistema muscular.

Por exemplo, a criança desde o seu nascimento, leva meses até sair de um estágio de puro reflexo para um estágio de aprendizagem da marcha. Segundo a interpretação em termos do desenvolvimento motor, à medida que o córtex cerebral e as bainhas de mielina se desenvolvem, é que há a conexão com a medula espinhal e os movimentos voluntários e dirigidos se tornam cada vez mais precisos (HOLLE, 1979).

Na marcha, o que visualizamos é basicamente, um movimento coordenado e harmonioso dos membros inferiores, que produzem uma seqüência de passos alternados. No entanto, o que precede esses movimentos, isto é, o mecanismo que faz iniciá-los a partir de uma posição estática do corpo humano, é muito mais detalhado, e necessita sobretudo de uma coordenação mecânica coordenada pelo sistema neuromotor.

Durante a execução de cada passo da marcha, o sistema de estrutura do corpo humano se move inicialmente em decorrência das contrações de grupos

musculares que são desencadeadas a partir da transmissão de impulsos dos nervos às fibras musculares esqueléticas. Esses processos neuromotores são acompanhados ainda por reações químicas, que se dão dentro das células, e que serão necessárias para a produção de energia e execução do mecanismo de contração muscular.

Note como a coordenação global do corpo humano para realizar um passo de marcha é complexa em termos desse tipo de interpretação, pois envolve processos entre diferentes sistemas e que precisam ser bem detalhados. Neste experimento pretendemos analisá-la em termos de outra interpretação: a biomecânica.

Nessa interpretação procuremos analisar os procedimentos mecânicos tomados por um indivíduo para sair de uma posição estática e realizar o primeiro passo. O enfoque será dado apenas às forças que atuam sobre o indivíduo. Na situação descrita acima, procuraremos descrever como acontece o movimento do indivíduo para frente, analisando o comportamento de duas forças: a força peso e a força de reação do solo, e as posições relativas em que elas atuam.

Sabe-se que na posição inicial, estática, essas forças estão alinhadas, e têm direção vertical, o que estabelece a condição de equilíbrio do corpo. Então o que faz o corpo se desequilibrar e assim começar o movimento da marcha?

Para responder essa questão e desenvolver o modelo experimental estaremos tratando dos seguintes conceitos:

- Força,
- Torque,
- Condições de Equilíbrio Estático,
- Leis de Newton.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. Cap. 11. 2ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- TIPLER, P.A. Física. Volume 1, Cap. 4 e 12, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1991.

#### **5.3.2 Fenômeno**

A fase inicial de um passo realizado por um indivíduo, a partir de um posicionamento corporal estático, com pequeno afastamento lateral das pernas. Salientamos que o passo é um fenômeno muito pesquisado na literatura. O que propomos como fenômeno é algo mais específico do passo, ou seja, o seu início, o que é menos comum na literatura.

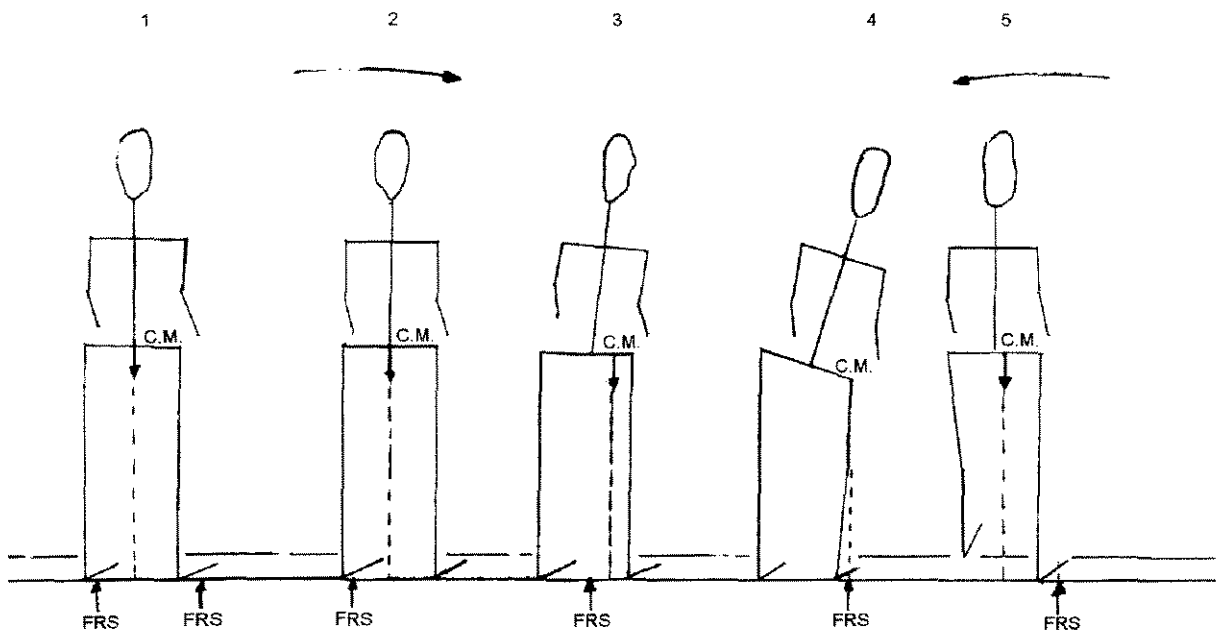
#### **5.3.3 Objetivo**

Explicar a sucessão dos primeiros procedimentos mecânicos tomados pelo indivíduo para sair da posição estática e iniciar a andar.

### 5.3.4 Modelo

Neste experimento, realizaremos a análise observando o corpo do indivíduo por trás. Procuraremos analisar a contribuição da força de reação do solo sob os pés do indivíduo para a execução dos procedimentos mecânicos.

Consideremos duas forças agindo sobre o seu corpo: o seu peso e a força de reação do solo (fig. 16).



**Figura 16 - Representação das forças peso e reação do solo atuando sobre o indivíduo no movimento de andar**

A força peso está agindo no centro de massa (C.M.), com direção vertical e sentido para baixo e as forças de reação do solo (FRS) distribuídas sob os dois pés, e cuja resultante tem direção vertical e sentido para cima. Inicialmente as duas forças estão agindo na mesma linha de ação, são iguais em magnitude,

porém opostas; portanto a resultante sobre o corpo é zero, o que define um estado de equilíbrio estático (fig.16, desenho 1).

Para que o indivíduo inicie um primeiro passo com a perna esquerda ele precisa liberá-la de sua função de apoio. Para isso é desencadeada uma sequência de procedimentos que deslocará o centro de massa do corpo para levá-lo em "cima" do pé direito.

Na prática este deslocamento do centro de massa é obtido transferindo momentaneamente o apoio para o pé esquerdo. Desta forma aparece um momento de força que gera um ligeira rotação do corpo no sentido horário. (fig. 16, desenho 2-3).

Este movimento é interrompido com a volta do apoio para o pé direito (fig. 16, desenho 4) que gera uma nova situação de equilíbrio (quase) estático com o centro de massa e a força de reação do solo praticamente alinhados no pé direito.

Assim, fica liberada a perna esquerda para que o primeiro passo seja executado. Como as duas forças (peso e reação do solo) não estão agindo sob a mesma linha de ação, há geração de um torque no sentido anti-horário, fazendo com que o corpo do indivíduo comece a se movimentar para a esquerda, realizando, assim, o primeiro passo (fig. 16, desenho 5).

### 5.3.5 Previsão

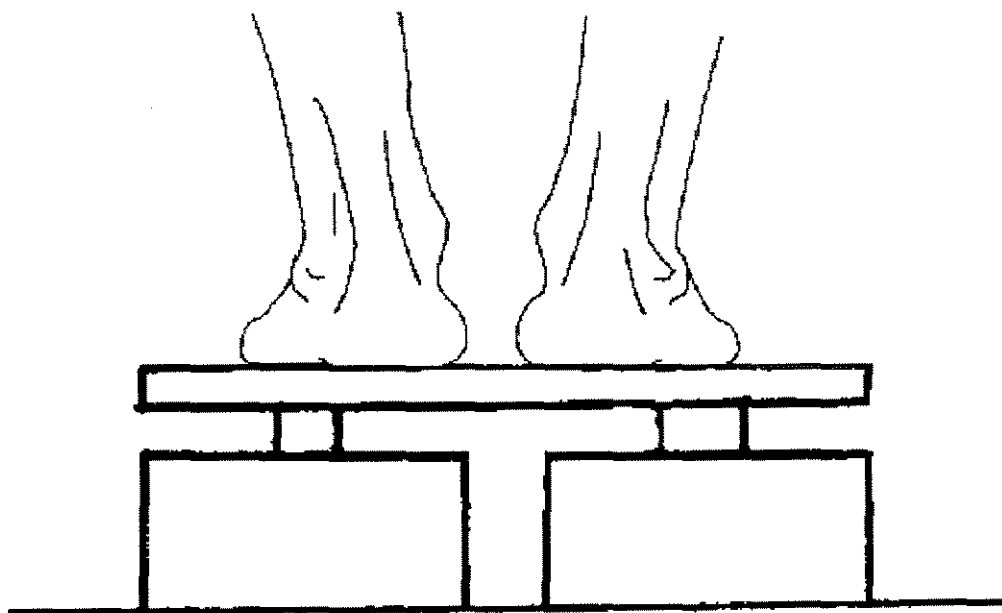
O experimento aqui proposto, permite acompanhar o comportamento da força de reação do solo durante a movimentação descrita, mais especificamente em relação ao ponto de aplicação de sua resultante.

Espera-se que o ponto de aplicação da força de reação do solo, em função do tempo, apresente o mesmo comportamento descrito no modelo, ou seja, partindo de uma distribuição entre os dois pés, desloque-se inicialmente para a esquerda, caracterizando o movimento de “alívio” da sustentação da perna direita e o conseqüente deslocamento do centro de massa para a direita. Depois, em seqüência, desloque-se o apoio para a direita, interrompendo o movimento do centro de massa, caracterizando o reequilíbrio do corpo na perna direita, permitindo a movimentação da perna esquerda para iniciar o primeiro passo.

#### **5.3.6 Experimento**

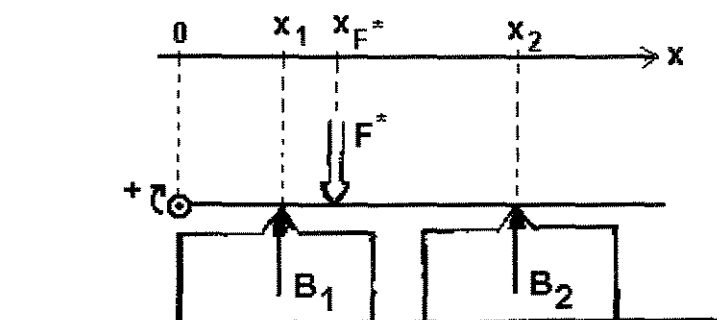
Para acompanhar o comportamento da força de reação do solo propõe-se a montagem já apresentada no experimento relativo ao salto (cap. 4 - item 4.3.1.). Duas balanças foram posicionadas lado a lado, e sobre elas uma plataforma de madeira.

A diferença é que no item 4.3.1. o indivíduo é visualizado de lado - plano sagital, neste experimento, o indivíduo é visualizado de costas - plano frontal(fig. 17).



**Figura 17 - vista posterior do indivíduo sobre o sistema de medição**

Todos os equacionamentos e procedimentos seguem os já desenvolvidos no item 4.3.1 do capítulo 4. As equações estão destacadas a seguir. Sob o sistema montado (fig. 18), o indivíduo executa um passo, saindo de cima da tábua.



**Figura 18 - Representação completa das forças atuando no sistema com o indivíduo**

Somatória das forças igual a zero:

$$\Sigma F = 0$$

$$B_1 + B_2 - F^* = 0$$

$$F^* = B_1 + B_2$$

Somatória dos torques igual a zero:

$$\Sigma \tau = 0$$

$$-X_1 B_1 - X_2 B_2 + X_F F^* = 0$$

$$X_{F^*} = \frac{X_1 B_1 + X_2 B_2}{F^*} \quad [8]$$

Esse experimento não tem objetivos de pesquisa, mas de ensino de conceitos mecânicos que possam ser aplicados na análise do movimento humano. Lembramos que a montagem utilizada é rudimentar o que a inviabiliza para a prática da pesquisa.

### 5.3.7 Dados

Após filmagem das balanças e leitura dos seus valores a cada 1/30 [s] obtemos o seguintes dados que nos permitem calcular a posição da força de reação do solo em função do tempo.  $x_1$  e  $x_2$  correspondem às coordenadas das balanças 1 e 2 em relação ao eixo adotado.  $x_1 = 14.5$  cm e  $x_2 = 26$  cm



#	b1[Kg]	b2[Kg]	t [s]	X <sub>F</sub> [cm]
	$\Delta b1=0,5[\text{kg}]$	$\Delta b2=0,5[\text{kg}]$		
1	46	39	0	26,4
2	47	39	0,03	26,3
3	47	39	0,07	26,3
4	47	39	0,10	26,3
5	47	39	0,13	26,3
6	47	39	0,17	26,3
7	47	39	0,20	26,3
8	47	39	0,23	26,3
9	47	39	0,27	26,3
10	47	39	0,30	26,3
11	48	39	0,33	26,2
12	48	39	0,37	26,2
13	48	39	0,40	26,2
14	48	39	0,43	26,2
15	48	38	0,47	26,0
16	48	38	0,50	26,0
17	48	38	0,53	26,0
18	49	38	0,57	25,9
19	49,5	37	0,60	25,6
20	50	36	0,63	25,4
21	51	35	0,67	25,1
22	52	35	0,70	25,0
23	53	35	0,73	24,8
24	53	35	0,77	24,8
25	53	35	0,80	24,8
26	53	34	0,83	24,7
27	53	34	0,87	24,7
28	53	34	0,90	24,7
29	53	34	0,93	24,7

#	b1[Kg]	b2[Kg]	t [s]	X <sub>F</sub> [cm]
	$\Delta b1=0,5[\text{kg}]$	$\Delta b2=0,5[\text{kg}]$		
30	53	34	0,97	24,7
31	53	34	1,00	24,7
32	53	34	1,03	24,7
33	53	34	1,07	24,7
34	52,5	35	1,10	24,9
35	52	35	1,13	25,0
36	51	36	1,17	25,3
37	50	38	1,20	25,7
38	48	40	1,23	26,3
39	46	40	1,27	26,6
40	45	42	1,30	27,1
41	43	43	1,33	27,5
42	42	44	1,37	27,8
43	40	45	1,40	28,3
44	39	49	1,43	29,0
45	36	53	1,47	30,0
46	32	56	1,50	31,1
47	28	58	1,53	32,0
48	24	60	1,57	33,1
49	21	62	1,60	33,9
50	22	64	1,63	33,9
51	23	66	1,67	33,8
52	24	68	1,70	33,7

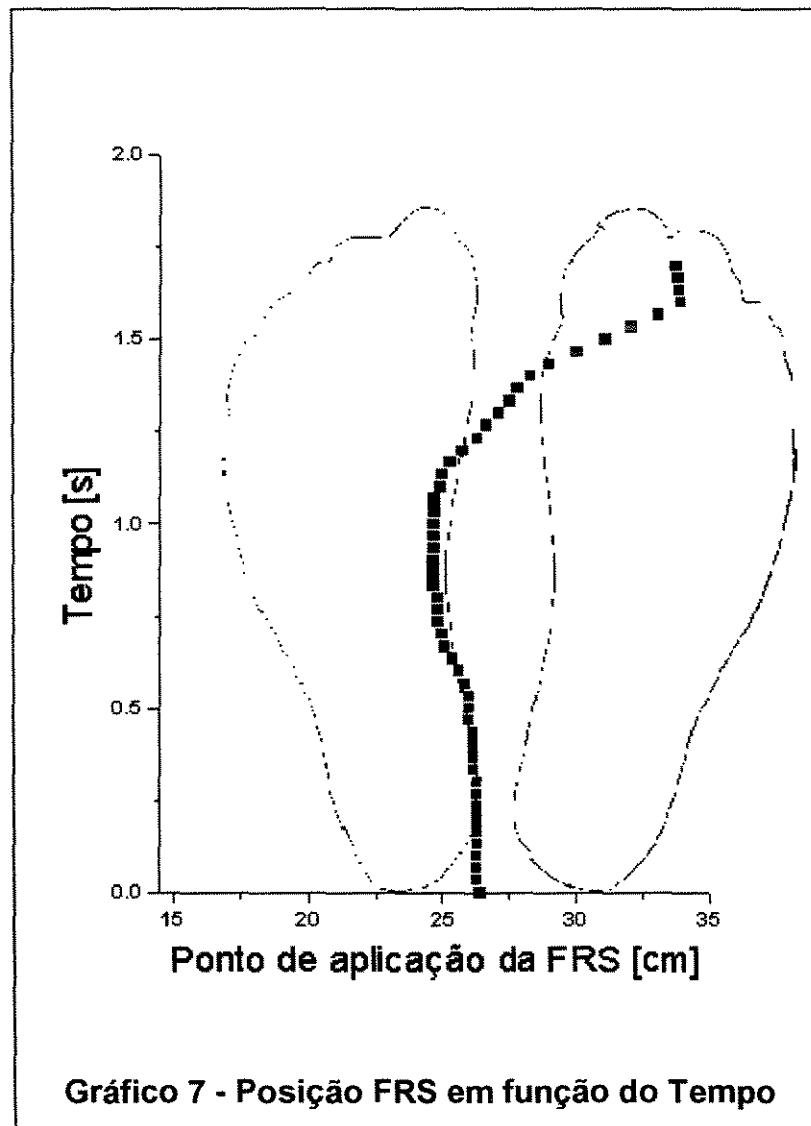
### 5.3.8 Tratamento dos Dados

Para melhor visualizar a informação contida nos dados, construímos um gráfico da Força de Reação do Solo (FRS) em função do tempo (t).

Observa-se no gráfico 7, o comportamento da força de reação solo durante a realização do passo.

Inicialmente, observa-se que a força de reação do solo permanece num posicionamento estável no intervalo entre 0 e 0,6 [s], o que corresponde ao estado de equilíbrio estático do indivíduo.

A partir desse momento (t=0,6 [s]) a força de reação do solo começa a se deslocar para a esquerda, o que corresponde ao apoio da perna esquerda.



Logo depois, a partir do tempo 1,1 [s], a força de reação do solo começa a se deslocar para a direita, caracterizando o apoio com a perna direita. Dessa forma a perna esquerda é liberada e inicia-se o primeiro passo.

### 5.3.9 Avaliação/Conclusão

Através do tratamento dos dados experimentais, verifica-se que as informações extraídas do experimento correspondem às previsões geradas no vertente analítica (item 5.3.5.). O ponto de aplicação da Força de Reação do Solo pode ser determinado e mostrou-se que o seu deslocamento no tempo se comporta conforme o modelo proposto.

Assim, conclui-se que o fenômeno pôde ser descrito, qualificando o modelo proposto para o estudo.

## 5.4 Experimento 4 - análise estática da estrutura do membro superior humano em situação isométrica

### Introdução

O tema deste experimento está direcionado para os conceitos básicos envolvidos no equilíbrio estático. O equilíbrio estático é um estado no qual um corpo se mantém imóvel em decorrência da aplicações de forças em sua estrutura, tal que a resultante seja nula.

Um exemplo muito comum em Educação Física refere-se à postura humana estática. Particularmente em situações onde há tensão muscular mas não há mudança no comprimento do músculo. Esse é o caso da pessoa parada, em pé, e do corredor em posição estática de prontidão, nos instantes antes da partida. Também é típico dos trabalhos realizados com aparelhos de musculação, em condições isométricas.

Nesse experimento utilizaremos os conceitos de força, torque, além de abordar as condições necessárias para a manutenção do equilíbrio estático de um corpo. Aproveitamos ainda para lembrar alguns elementos de geometria e trigonometria.

Resolvemos dividir o experimento em dois, possibilitando dois enfoques diferenciados: um introdutório e outro de aplicação. No primeiro, trataremos do equacionamento do torque em condições onde as forças aplicadas sobre uma estrutura serão perpendiculares. No segundo, abordaremos esse mesmo equacionamento, mas em condições mais gerais.

Nas duas partes do experimento utilizaremos uma mesma montagem, porém as condições experimentais serão diferenciadas.

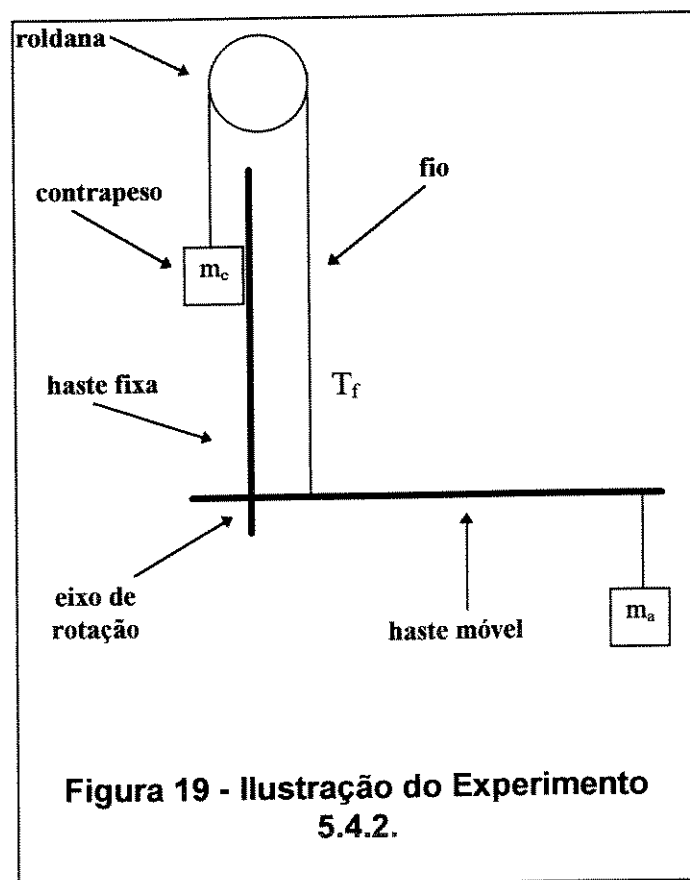
#### BIBLIOGRAFIA:

- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. Cap. 4. 2ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- SEARS & ZEMANSKI. Física. Cap.6. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.
- WINTER, David A Biomechanics of Human Movement. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- HALL, Suzan. Biomecânica Básica. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1993.
- LEHMKUHL, L.D. e SMITH, L.K. Cinesiologia Clínica. 4 ed. Editora Manole. São Paulo, 1987.

#### 5.4.1 Experimento Introdutório

No experimento introdutório, escolhemos a situação mais simples possível para exemplificar a utilização dos conceitos envolvidos.

Na atividade experimental encontramos uma montagem articulada em situação estática sob a ação de forças (fig. 19). O estudo centra-se nos conceitos e condições envolvidos para que essa montagem se mantenha em equilíbrio estático.



Será necessário utilizarmos o conceito de torque, que está relacionado com a magnitude das forças aplicadas sobre a montagem e com suas respectivas distâncias dos pontos de aplicação ao eixo de rotação considerado.

Pela configuração da montagem, a linha de ação das forças envolvidas se mantém ortogonais às distâncias de seus pontos de aplicação ao eixo de rotação, o que facilita o equacionamento dos torques envolvidos e a própria prática experimental em termos da medição de variáveis.

#### **5.4.1.1 Fenômeno**

Variando-se a posição do corpo de massa ( $m_a$ ) em relação ao eixo de rotação, varia-se, conseqüentemente, a massa do contrapeso presa ao fio, necessária para manter a haste móvel em equilíbrio estático, posição horizontal, em relação à haste fixa vertical.

#### **5.4.1.2 Objetivo**

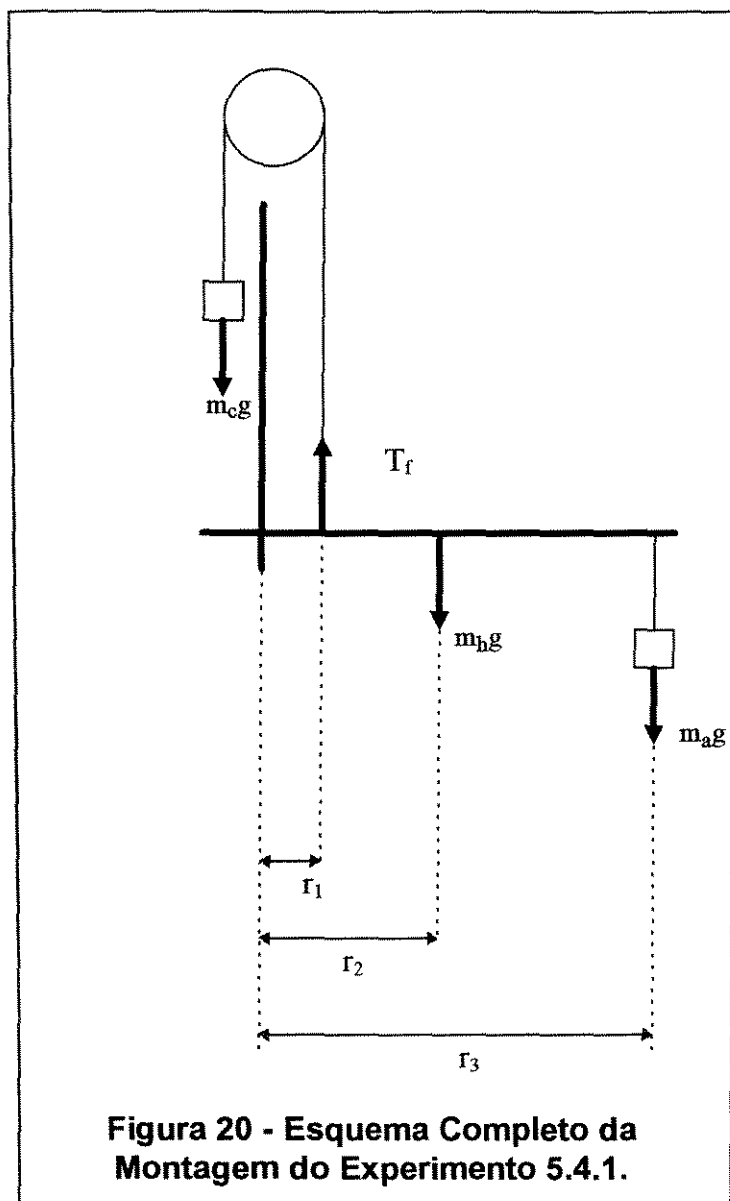
Estudar a relação entre a magnitude da massa do contrapeso ( $m_c$ ) e a posição ( $r_3$ ) do corpo ( $m_a$ ) em relação ao eixo de rotação, para manter uma situação de equilíbrio estático em relação à haste fixa vertical.

#### **5.4.1.3 Modelo**

Estando a haste móvel livre para se movimentar em torno de um eixo fixo, percebe-se que, caso não haja equilíbrio estático, ela deverá apresentar um movimento de rotação no sentido do torque resultante.

Observa-se na montagem experimental (fig. 20) que a haste móvel está submetida a quatro forças (peso do corpo de massa ( $m_a$ ), peso próprio ( $m_h g$ ), tração do fio ( $T_f$ ) e a força no eixo de rotação (ER)). No estado de equilíbrio

estático, a mecânica ensina que a resultante de todas as forças deve ser nula, isto é,  $\Sigma F_i = 0$ ; e que a somatória de todos os momentos (torques) também deve-se anular,  $\Sigma \tau_i = 0$ .



Consideramos o eixo de articulação das hastes como o eixo para o cálculo dos momentos. Assim, o momento das forças presentes na articulação é zerado.

Desprezando o atrito na roldana, a força-peso do contrapeso é igual, em magnitude, à força de tração que o fio exerce sobre a barra ( $T_f$ ). Considerando essas propriedades, obtemos as seguintes expressões que descrevem a condição de equilíbrio estático:

- Equação das forças (direção vertical  $y$ ).  $ER$  = força presente no eixo de rotação:

$$ER_y + m_h g + m_a g - m_c g = 0 \quad [9]$$

- Equação dos momentos (tomando o sentido horário da rotação da haste móvel como positivo):

$$\begin{aligned} -r_1 \cdot m_c g + r_2 \cdot m_h g + r_3 \cdot m_a g &= 0 \\ r_1 \cdot m_c g &= r_2 \cdot m_h g + r_3 \cdot m_a g \\ r_1 \cdot m_c &= \frac{g(r_2 \cdot m_h + r_3 \cdot m_a)}{g} \\ m_c &= \frac{r_2}{r_1} \cdot m_h + \frac{m_a}{r_1} \cdot r_3 \end{aligned} \quad [10]$$

Definidas essas duas equações e considerando o objetivo do estudo, utilizaremos a equação [10] como modelo para o nosso estudo.

#### 5.4.1.4 Previsão

Através do modelo proposto, tem-se como previsão um gráfico entre a massa do contrapeso ( $m_c$ ) e a distância ( $r_3$ ) do corpo de massa ( $m_a$ ) em relação ao eixo de rotação. A figura esperada é uma reta com coeficiente linear igual a

$$\frac{r_2}{r_1} \cdot m_h \text{ e coeficiente angular igual a } \frac{m_a}{r_1}.$$



### 5.4.1.5 Experimento

Após a instalação da montagem experimental, no qual foram tomados cuidados relativos aos atritos da roldana e à manutenção do sistema no plano vertical, os dados referentes às suas dimensões foram coletados:

$$m_a: 20,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$$

$$m_h: 33,3 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$$

$$r_1: 6,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

$$r_2: 12,3 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

### 5.4.1.6 Dados

Estando a estrutura montada, iniciou-se a coleta de dados. Para cada posição ( $r_3$ ) do corpo de massa ( $m_a$ ), registrou-se a massa do contrapeso ( $m_c$ ) necessária para manter a haste móvel em equilíbrio estático, posição horizontal, em relação à haste fixa vertical.

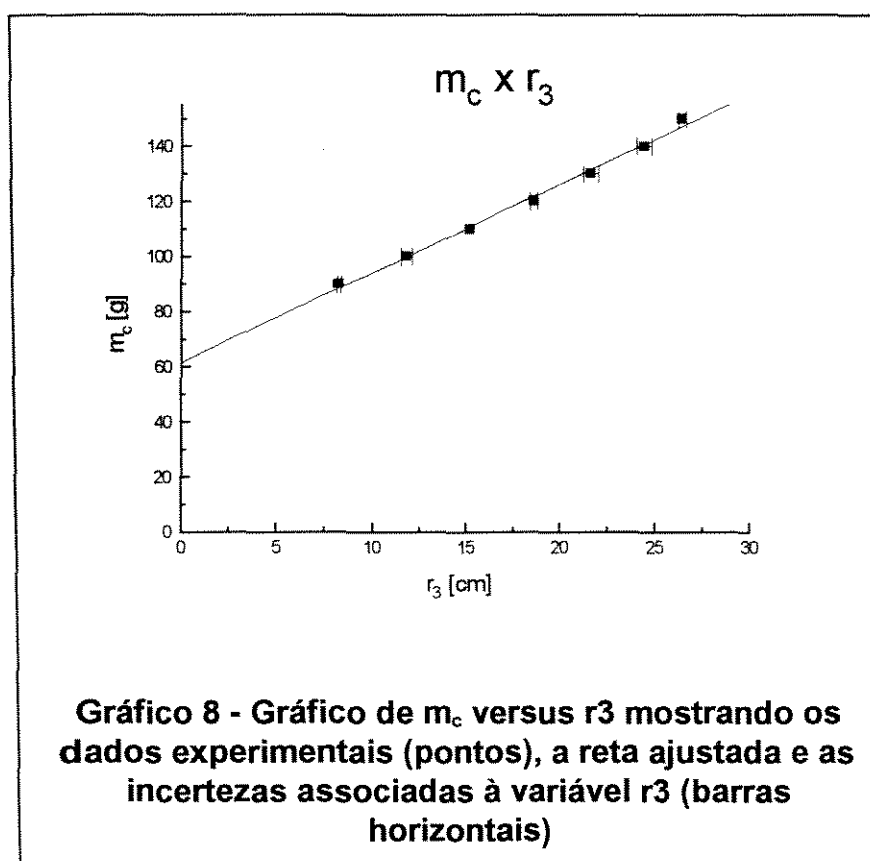
DADOS DE  $r_3$  E  $m_c$

#	$r_3$ [cm]			$\langle r_3 \rangle$ [cm]	$\Delta \langle r_3 \rangle$ [cm]	$m_c$ [g]
	1	2	3			
	$\Delta r_3 = 0,1$	$\Delta r_3 = 0,1$	$\Delta r_3 = 0,1$			
1	8.0	8.5	8.3	8.3	0.1	90
2	12.3	12.0	11.2	11.8	0.3	100
3	15.2	15.2	15.2	15.2	0.1	110
4	18.9	18.7	18.1	18.6	0.2	120
5	22.3	21.6	21.0	21.6	0.4	130
6	25.3	24.1	23.9	24.4	0.4	140
7	25.9	26.6	26.7	26.4	0.2	150

#### 5.4.1.7 Tratamento dos Dados

Com os dados obtidos experimentalmente, realizou-se um gráfico de  $m_c$  versus  $r_3$ , o que nos permitiu verificar:

- 1º - que o gráfico obtido é uma reta;
- 2º - que essa reta possui coeficiente linear;
- 3º - que os coeficientes angular e linear têm valores compatíveis com as constantes do modelo proposto, o qual envolve valores medidos na montagem experimental.



#### 5.4.1.8 Avaliação/Conclusão

Considerando o modelo linear proposto para o estudo desse fenômeno, procuramos ajustar uma reta entre os pontos desenhados no gráfico. Através dos parâmetros desse ajuste (gráf. 8) é que realizamos nossa avaliação.

Obtemos os valores dos coeficientes angular (b) e linear (a) e de suas incertezas:

$$b = 3,2 \pm 0,1 [\text{g.cm}^{-1}] \quad a = 61,6 \pm 2,2 [\text{g}].$$

Como estes resultados, verificou-se que o gráfico encontrado experimentalmente corresponde ao deduzido na previsão, ou seja, uma reta com coeficientes angular e linear. Observou-se, também, que os valores dos respectivos coeficientes, obtidos através do método gráfico, são compatíveis com os valores calculados a partir das expressões do modelo (equação 10 com valores do item 5.4.1.5.), o que dá mais credibilidade ao modelo proposto.

$$b = 3,0 \pm 0,1 [\text{g.cm}^{-1}] \quad a = 61,1 \pm 1,06 [\text{g}]$$

### 5.4.2 Experimento Aplicação

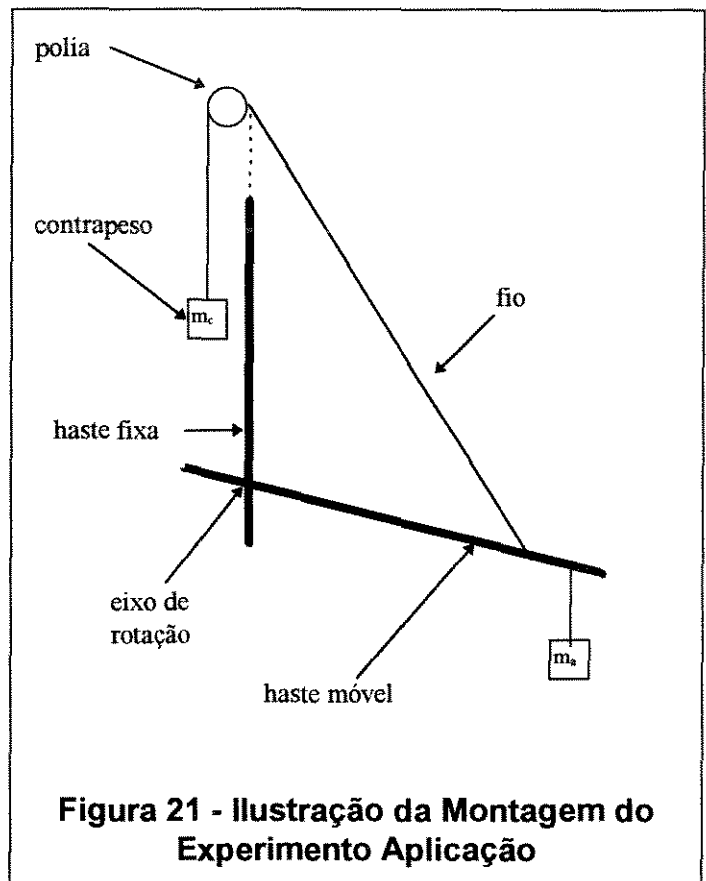
Podemos aplicar os conceitos desenvolvidos na primeira parte ao estudo de uma situação mais realista.

Neste experimento trazemos o estudo de um dos fatores mecânicos ligados à força muscular, que é o caso da relação entre a força muscular em ação isométrica e o comprimento do músculo.

Estamos considerando

uma situação na qual estão representadas duas estruturas ósseas que articulam-se entre si através de uma única articulação, é o caso do braço, o antebraço e a articulação do cotovelo. Um fio, representa o bíceps, o músculo atuante. Na prática, a montagem experimental, representará o membro superior humano carregando uma carga.

A montagem é formada basicamente por duas hastes de alumínio que se articulam entre si através de um eixo (articulação do cotovelo). O plano considerado para o movimento é o vertical. Uma dessas hastes de alumínio (antebraço), com um corpo de massa ( $m_a$ ) adicionado em sua extremidade, está



livre para articular-se com a outra haste (braço) fixada verticalmente por um pedestal. A haste móvel (antebraço) é tracionada por um fio (representando o músculo ou fibra) que por sua vez também é tracionado por um contrapeso de massa ( $m_c$ ) - equivalente da magnitude da força da fibra, cuja ação é transmitida por uma polia sem atrito. (fig. 21)

Observando a ilustração do experimento, nota-se que a distância do ponto de inserção do fio na haste ao eixo de rotação foi exagerado. Esse procedimento foi tomado para facilitar a coleta de dados, porém não afeta os conceitos envolvidos no estudo.

O objetivo nesta parte do experimento é relacionar a força muscular, necessária para a manutenção do equilíbrio, com o comprimento da fibra muscular.

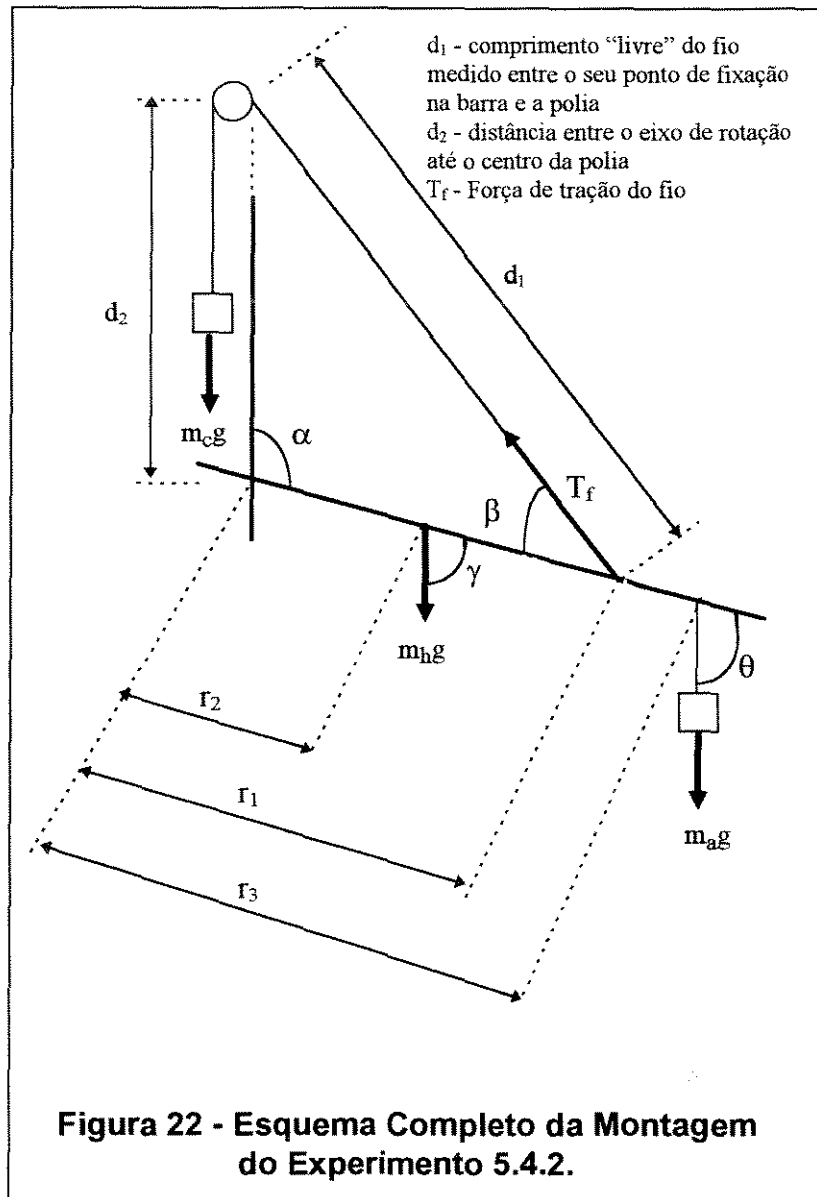
A configuração da montagem nos leva a utilizar os conceitos de torque, força, além das condições necessárias para a manutenção do equilíbrio estático. Durante a realização do experimento, o ângulo entre as duas hastes será variável. Em consequência disso, será necessário lembrarmos alguns elementos de geometria e trigonometria.

### 5.4.2.1 Fenômeno

Variando-se o ângulo entre as hastes, variam, conseqüentemente, o comprimento “livre” do fio (entre o local de sua fixação na haste móvel e o ponto de contato com a roldana) e a força-peso do contrapeso, necessária para manter o sistema em equilíbrio estático.

### 5.4.2.2 Objetivo

Estudar a relação entre o comprimento “livre” do fio e a magnitude da força-peso do contrapeso, para manter uma situação de equilíbrio estático.



### 5.4.2.3 Modelo

Observa-se (fig. 22) que o braço móvel está submetido a quatro forças (peso do corpo de massa ( $m_a$ ), adicionado na extremidade da haste móvel, peso da haste móvel de massa ( $m_h$ ), tração do fio ( $T_f$ ) e força na articulação). No estado de equilíbrio estático, a mecânica ensina que a resultante de todas as

forças deve ser nula, isto é,  $\Sigma F_i=0$ ; e que o momento resultante de todas as forças também deve se anular,  $\Sigma \tau_i=0$ .

Ao considerarmos o eixo de articulação das hastes como o eixo de rotação para o cálculo dos momentos, o momento da força presente na articulação é anulado, e a expressão que descreve a condição de equilíbrio estático, quanto aos momentos, fica definida pelas outras forças presentes.

O cálculo dos momentos de força utiliza as distâncias  $r_1$ ,  $r_2$  e  $r_3$ , as forças correspondentes ( $T_f$ ,  $m_h g$ ,  $m_a g$ ) e os senos dos ângulos ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ ) entre as linhas de ação destas forças e a haste móvel. Através da polia, desprezando o efeito do atrito, a força peso do contrapeso é, em magnitude, igual à força de tração que o fio exerce sobre a barra ( $T_f$ ).

Desta forma, considerando essas propriedades e tomando o sentido horário da rotação da haste móvel como positivo, obtém-se a seguinte expressão:

$$-r_1 \cdot m_c g \cdot \sin \beta + r_2 \cdot m_h g \cdot \sin \gamma + r_3 \cdot m_a g \cdot \sin \theta = 0 \quad [11]$$

Vemos que o modelo envolve três ângulos que caracterizam a geometria da montagem. Observa-se que o fio e as duas hastes (fixa e móvel) formam um triângulo no qual se podem estabelecer as seguintes relações:

1º - Considerando a lei dos senos, pode-se obter uma expressão entre o seno do ângulo formado entre o fio e a haste móvel ( $\beta$ ) e o seno do ângulo formado entre as hastes fixa e móvel ( $\alpha$ ):

$$\frac{d_1}{\sin \alpha} = \frac{d_2}{\sin \beta}$$

de onde

$$\sin \beta = \frac{d_2}{d_1} \cdot \sin \alpha$$

2º - Considerando que os ângulos ( $\gamma$ ) e ( $\theta$ ) são iguais e suplementares do ângulo ( $\alpha$ ), podem-se deduzir as seguintes expressões:

$$\sin \gamma = \sin \theta = \sin (180 - \alpha) = \sin \alpha$$

Aplicando essas expressões ao modelo inicialmente deduzido, estrutura-se, então, um modelo matemático para o estudo do fenômeno:

$$\begin{aligned} r_1 \cdot m_{cg} \cdot \sin \beta &= r_2 \cdot m_h g \cdot \sin \gamma + r_3 \cdot m_a g \cdot \sin \theta \\ m_{cg} &= \frac{r_2 \cdot m_h g \cdot \sin \gamma + r_3 \cdot m_a g \cdot \sin \theta}{r_1 \cdot \sin \beta} \\ m_{cg} &= \frac{r_2 \cdot m_h g \cdot \sin (180 - \alpha) + r_3 \cdot m_a g \cdot \sin (180 - \alpha)}{r_1 \cdot \frac{d_2}{d_1} \sin \alpha} \\ m_{cg} &= \frac{r_2 \cdot m_h g \cdot d_1 + r_3 \cdot m_a g \cdot d_1}{r_1 \cdot d_2} \\ m_{cg} &= \frac{r_2 \cdot m_h g + r_3 \cdot m_a g}{r_1 \cdot d_2} \cdot d_1 \end{aligned} \quad [12]$$

#### 5.4.2.4 Previsão

Do modelo proposto, observa-se a relação de proporcionalidade entre as variáveis contrapeso e o comprimento “livre” do fio. Dessa forma, como previsão do modelo, espera-se um gráfico entre essas variáveis, tendo como figura uma reta passando pela origem (0,0) e com um coeficiente angular igual a



$\frac{r_2 \cdot m_h g + r_3 \cdot m_a g}{r_1 \cdot d_2}$ , que é constante e pode ser calculada a partir dos

valores medidos na montagem.

#### 5.4.2.5 Experimento

Tomando como base as variáveis de interesse propostas pelo modelo e analisando a mecânica da montagem, no desenvolvimento da parte experimental, propõem-se tomar cuidados especiais nas seguintes características: - certificar se o sistema fixado no pedestal está vertical; - certificar se a roldana está se movimentando adequadamente e sem atrito e - certificar se o procedimento escolhido para medir  $d_1$  é preciso e não interfere na manutenção do equilíbrio do sistema.

As massas  $m_a$  e  $m_h$  e as dimensões da montagem foram medidas. Os resultados estão resumidos a seguir:

- $m_a$  sobrecarga adicionada à barra:  $0,100 \text{ Kg} \pm 0,001 \text{ Kg}$ ;
- $m_h$  massa da haste móvel:  $0,030 \text{ Kg} \pm 0,001 \text{ Kg}$ ;
- $r_1$ :  $0.259 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$ ;
- $r_2$ :  $0.121 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$ ;
- $r_3$ :  $0.264 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$ ;
- $d_2$ :  $0.50 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ .

#### 5.4.2.6 Dados

Estando a estrutura montada, inicia-se a fase da coleta de dados. Para cada ângulo entre as hastes, numa situação de equilíbrio estático, registram-se, simultaneamente,  $d_1$  e  $m_c$ .

Devido aos atritos residuais (no eixo das hastes e no eixo da polia), para cada contrapeso ( $m_c g$ ) haverá uma faixa angular de posições de equilíbrio para a haste móvel  $e$ , conseqüentemente, uma faixa de " $d_1$ " compatíveis, levando o pesquisador a estimar o valor médio  $\langle d_1 \rangle$  e a sua incerteza. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela abaixo.

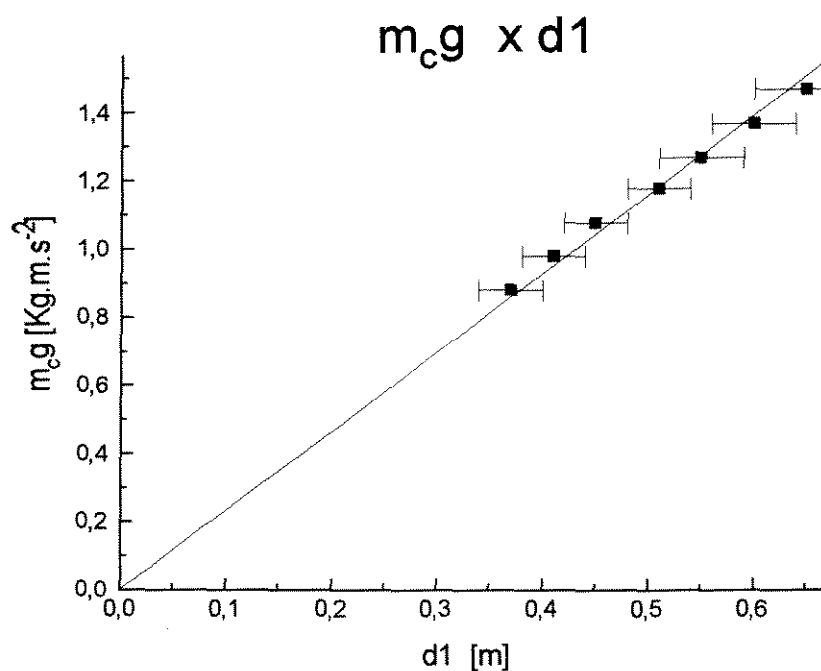
#	$m_c \pm \Delta m_c$ [Kg]	$m_c g$ [Kg.m.s <sup>-2</sup> ]	$d_1$ [m]		$\langle d_1 \rangle \pm \Delta \langle d_1 \rangle$ [m]
			lim. inf.	lim. sup.	
1	$0,09 \pm 0,01$	0,88	0,34	0,39	$0,37 \pm 0,03$
2	$0,10 \pm 0,01$	0,98	0,38	0,43	$0,41 \pm 0,03$
3	$0,11 \pm 0,01$	1,08	0,42	0,48	$0,45 \pm 0,03$
4	$0,12 \pm 0,01$	1,18	0,48	0,53	$0,51 \pm 0,03$
5	$0,13 \pm 0,01$	1,27	0,51	0,59	$0,55 \pm 0,04$
6	$0,14 \pm 0,01$	1,37	0,56	0,64	$0,60 \pm 0,04$
7	$0,15 \pm 0,01$	1,47	0,60	0,69	$0,65 \pm 0,05$

#### 5.4.2.7 Tratamento dos Dados

Conforme sugere o método científico, o tratamento dos dados experimentais deve procurar, nos próprios dados, a confirmação ou não das previsões do modelo. Para tanto, realiza-se um gráfico de  $m_c g$  versus  $d_1$ , o qual nos permitirá avaliar:

- 1º - Se o gráfico obtido é uma reta;
- 2º - Se essa reta passa pela origem;

3º - Se o coeficiente angular tem um valor compatível com a constante da expressão proposta nas previsões e que envolve valores medidos na montagem experimental.



**Gráfico 9 –  $m_c g$  versus  $d_1$  mostrando os dados experimentais (pontos), o efeito da incerteza provocada pelo atrito (barras horizontais) e a reta ajustada**

#### 5.4.2.8 Avaliação/Conclusão

Considerando que o modelo proposto era linear, procuramos ajustar uma reta sobre os pontos amostrais. Lembramos que o modelo previa uma reta com coeficiente linear nulo.

Inicialmente, pudemos observar que a reta que melhor representava a distribuição dos pontos no gráfico não correspondia ao modelo proposto, pois possuía coeficiente linear não nulo.

No entanto, considerando as limitações do modelo e sobretudo as incertezas associadas à variável  $d_1$  (comprimento "livre" do fio medido entre o seu ponto de fixação na barra e a polia) impomos um ajuste de uma reta com coeficiente linear nulo.

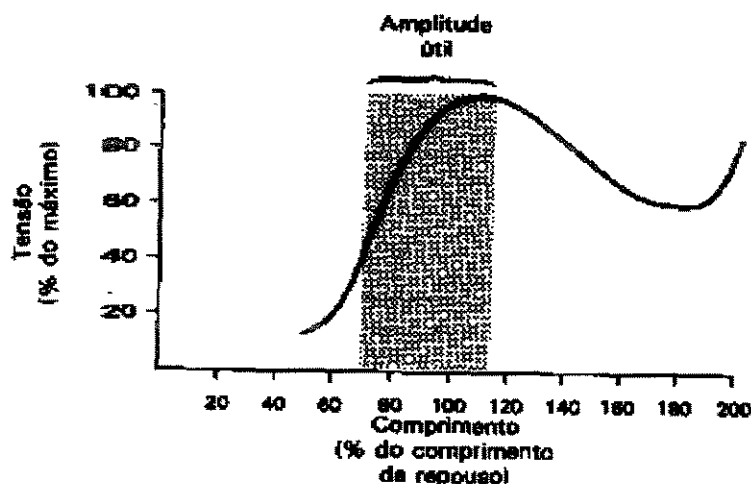
Através desse ajuste (gráf. 9) é que realizamos a avaliação. Obtivemos os valores dos coeficientes angular ( $b$ ) e linear ( $a$ ) e de suas incertezas:

$$b = 2,30 \pm 0,03 [\text{Kg.s}^{-2}] \quad a = 0 \pm 0,05 [\text{Kg.m.s}^{-2}].$$

Com esses resultados, pode-se verificar que os valores dos respectivos coeficientes, obtidos através do método gráfico, são compatíveis com os valores calculados a partir das expressões do modelo (eq. 12):

$$b = 2,27 [\text{Kg.s}^{-2}].$$

Com isso, verifica-se que o gráfico encontrado experimentalmente corresponde ao deduzido na previsão. Verifica-se também, a linearidade da relação entre a força de tensão e o comprimento do fio.



**Figura 23 - Diagrama de comprimento-tensão para uma fibra muscular estimulada isometricamente (LEHMKUHL & SMITH, 1987, p.134)**

Os dados encontrados não correspondem ao corpo humano, pois nosso estudo se deteve em uma estrutura mecânica de proporções exageradas. No entanto, observa-se pela literatura que no músculo essa relação (tensão versus comprimento do músculo) é crescente, o mesmo encontrado em nosso experimento.

## 5.5 Experimento 5 - análise dinâmica de golpes proferidos pelo braço humano contra um saco de treinamento de boxe

### 5.5.1 Introdução

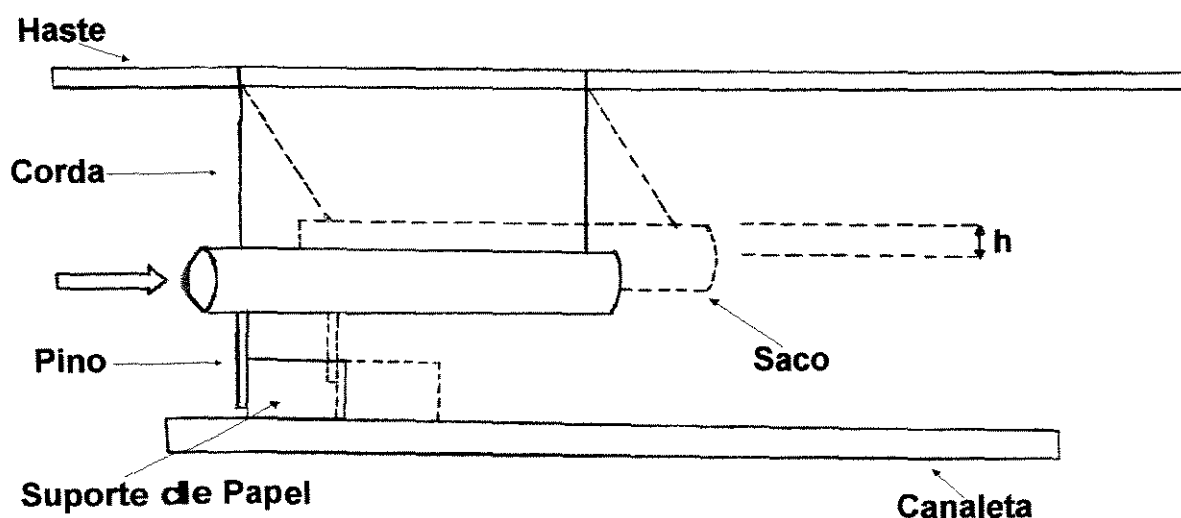
Colisão é um fenômeno no qual dois corpos se interagem fortemente durante um pequeno intervalo de tempo (TIPLER, 1978).

É muito comum, na Educação Física, acontecerem eventos onde esse fenômeno está presente. Por exemplo:

1. a interação entre o pé do corredor e o solo nas corridas, a interação entre o corpo do atleta e o solo em todos os tipos de queda, e os choques advindos dos golpes aplicados nas lutas marciais;
2. a interação existente entre a bola e os membros do corpo, no caso das modalidades nos quais esse implemento é utilizado (futebol, voleibol, beisebol, handebol, basquetebol...);
3. a interação entre implementos, tais como bola-raquete nas modalidades de tênis, tênis de mesa, squash, ou bola-taco nas modalidades de beisebol e golfe;
4. a interação entre implemento e solo, ocorrendo praticamente em todos os jogos desportivos;
5. a interação entre os corpos em modalidades esportivas nos quais os golpes executados com o pé e a mão são dirigidos a adversários.

Para estudar o fenômeno da colisão em ambiente experimental, selecionamos um evento no qual há interação entre a mão de um indivíduo e um saco de treinamento de golpes.

Para tanto, na prática experimental, utilizaremos como montagem um saco de treinamento de boxe. O saco será suspenso por duas cordas, fixadas em seu corpo, que por sua vez serão amarradas em uma haste rígida. Assim, o saco, ao ser impulsionado, poderá oscilar livremente no sentido longitudinal, paralelo ao comprimento da haste. No corpo do saco, será fixado também um pino que terá como função medir o deslocamento máximo do saco (fig.24). Essa medição é facilitada posicionando um suporte de papel à frente do pino.



**Figura 24 - Esquema simplificado da montagem do experimento 5.5.**

Para o desenvolvimento do modelo experimental e quantificar os golpes aplicados pelo corpo humano, abordaremos os seguintes conceitos mecânicos:

- colisão,
- impulso,
- momento linear,
- energia cinética,

- energia **p**otencial,
- energia **m**ecânica,
- conserv**a**ção de energia mecânica.

#### BIBLIOGRAFIA:-

- BLUM, Hayw**o**od. Physics and the art of Kicking and punching. American Journal o**f** Physics, v.45, n.1, p. 61-4, January, 1977.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. Cap. 8. 2<sup>a</sup> ed. Revis**a**da. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- SEARS & Z**E**MANSKI. Física. Cap. 7. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científic**o**s Editora, 1979.
- TIPLER, P.A. F**í**sica. Volume 1, Cap. 11, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 19**9**1.
- WALKER, Je**a**rl D. Karate strikes. American Journal of Physics, v.43, n.10,p. 845-9, o**c**tober, 1975.
- WILK, S.R., M**o**McNair, R.E. & FELD, M.S. The physics of karate. American Journal o**f** Physics, v.51, n.9, p.783-90, september, 1983.

#### 5.5.2 Fenô**m**eno

O fenô**m**eno que se observa é que, quando um golpe é aplicado em uma das extremid**a**des do saco no sentido longitudinal, a partir do repouso, há uma modificação d**o** seu estado, fazendo com que seja deslocado horizontalmente de uma distân**c**ia (d) e elevado a uma certa altura (h).



### 5.5.3 Objetivos

- Quantificar o golpe aplicado pelo corpo humano;
- Comparar diferentes golpes.

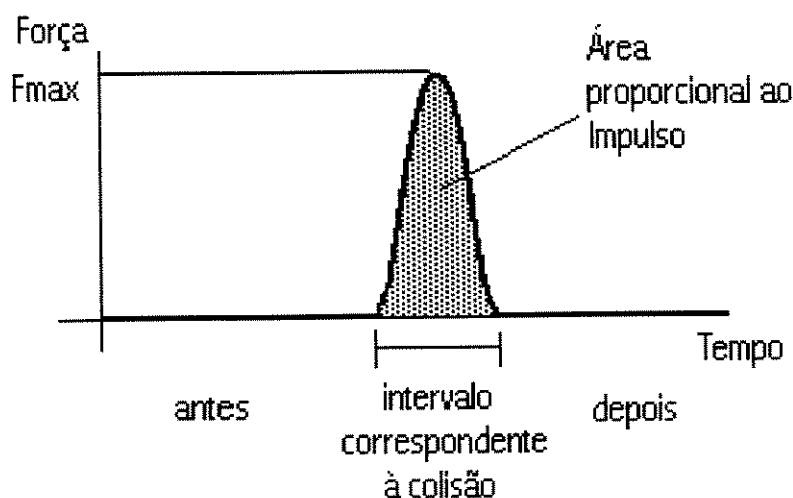
### 5.5.4 Modelo

Nas atividades nos quais há colisão, uma grandeza é transferida de um corpo ao outro. Para defini-la, vamos fazer, inicialmente, duas abordagens conceituais.

Na primeira abordagem conceitual, temos o conceito de impulso. Para entender este conceito, precisamos retomar o fenômeno da colisão e analisar suas características. A colisão a ser estudada é a existente entre o punho de um indivíduo e o saco de treinamento de boxe, no momento do golpe proferido.

A primeira característica é que o fenômeno localiza-se no tempo, isto é, podemos identificar temporalmente três momentos distintos: antes, durante e depois da colisão. A segunda característica é que o módulo das forças específicas da colisão são muito superiores às outras presentes.

Graficamente, podemos visualizar estas duas características no gráfico 10 e conceituar o Impulso como a integral da força no tempo ou a área sob a curva Força versus Tempo.



**Gráfico 10 - Gráfico da Força aplicada em função do Tempo**

Na segunda abordagem conceitual, temos o conceito do "momento linear". Novamente analisando o fenômeno, consideremos dois corpos (massas  $[m_1 \text{ e } m_2]$ ) que se colidem e identifiquemos três momentos distintos.

Num primeiro instante, temos que, imediatamente antes da colisão, os corpos, com suas respectivas massas ( $m_1 \text{ e } m_2$ ), aproximam-se com uma certa velocidade em sentidos opostos. Num segundo instante, há uma interação entre eles no tempo exato da colisão. No terceiro instante, imediatamente após, os corpos apresentam velocidades próprias decorrentes do tipo de interação ocorrida.

O Momento Linear ( $p$ ) de um corpo é conceituado como o produto da sua massa pela velocidade que apresenta.

$$p = \text{massa} \times \text{velocidade}$$

Desta forma, ambos os corpos podem apresentar momentos lineares diferentes, imediatamente antes e após a colisão, caracterizando o fenômeno como a variação do momento linear.

Após essas abordagens, podemos definir o impulso como a grandeza transferida numa colisão e que, neste caso, pretende-se medir.

A mecânica de Newton apresenta o conceito de Impulso (I) associado à variação do Momento Linear:

$$I = \text{variação de } p$$

Em relação ao fenômeno que estamos estudando, o impulso transferido de um corpo a outro (do punho ao saco) é o mesmo que ele experimenta, assim, ao medirmos o Impulso do saco, também estaremos medindo o impulso transferido pelo punho.

Mas, se o Impulso é a grandeza que nos interessa, como medi-lo?

Medir a área sob a curva  $F \times t$  é difícil, frente à pouca tecnologia que temos em sala de aula. Medir a variação do Momento Linear parece-nos mais adequado à nossa realidade.

Se o Impulso é igual à variação do Momento Linear, precisamos medir apenas a velocidade do saco, imediatamente antes e depois da colisão, uma vez que sua massa ( $m_s$ ) permanece constante.

$$I = \Delta p = m_s \cdot \Delta v$$

↑
↑

constante  $v_2 - v_1$

Antes da colisão, o saco apresentará uma massa ( $m_s$ ) e uma velocidade ( $v_1$ ), neste caso igual a zero. Depois da colisão, o mesmo apresentará uma mesma massa ( $m_s$ ) e uma velocidade ( $v_2$ ).

$$\begin{aligned} I &= \Delta m_s v \\ I &= (m_s v_2 - m_s v_1); \quad m_s v_1 = 0 \\ I &= m_s v_2 \end{aligned} \quad [13]$$

Como se pode observar, como  $v_1$  é igual a zero, a única variável que precisa ser medida agora é  $v_2$ .

Como medir  $v_2$ ? Sabe-se, que ao ser proferido um golpe no sentido longitudinal do saco, o mesmo irá apresentar um movimento pendular, isto é, a partir de uma posição de repouso, elevar-se-á até uma certa altura e, depois, retornará pelo mesmo caminho percorrido, dirigindo-se para o lado oposto.

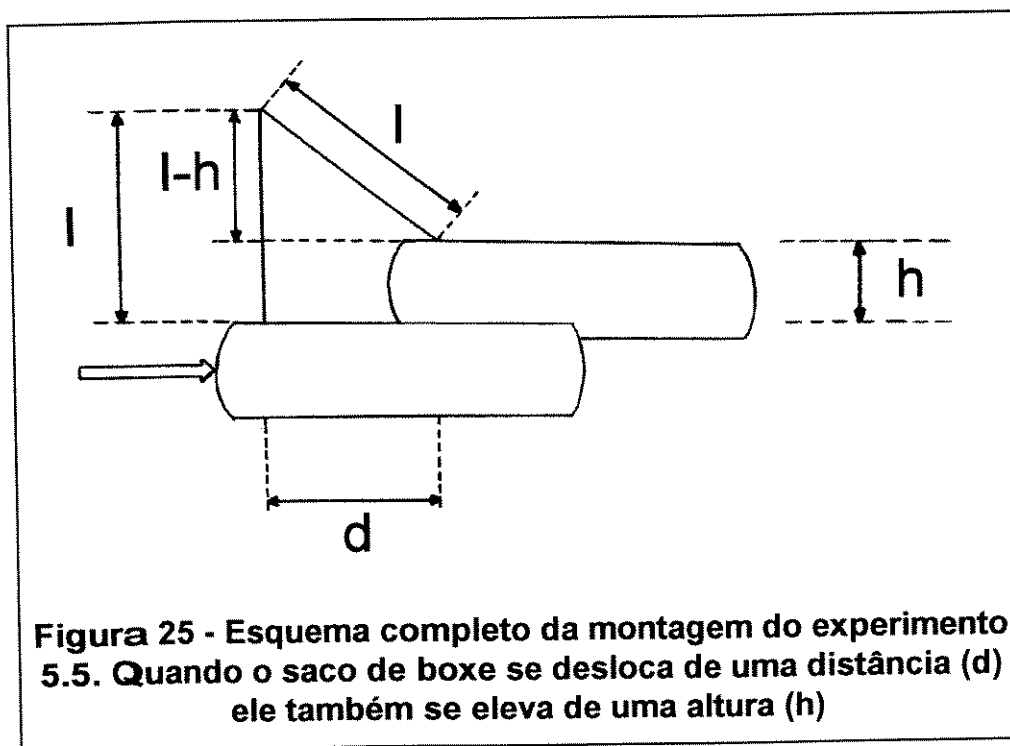
Após o golpe, como a gravidade é a única força externa atuante no sistema, podemos dizer que haverá conservação da energia mecânica. Isso representa dizer que, imediatamente após o golpe, o saco apresentará uma energia cinética ( $k$ ) que será igual a uma energia potencial ( $U$ ) na hora do saco alcançar a altura máxima ( $h$ ) a que foi transladado.

$$\begin{aligned} K &= U \\ \frac{1}{2} m_s v_2^2 &= m_s g h \\ v_2 &= \sqrt{2gh} \end{aligned} \quad [14]$$

Assim, podemos obter  $v_2$  medindo  $(h)$ . No entanto, quantificar esse deslocamento vertical se torna muito difícil para ser executado visualmente, no entanto, através de uma análise geométrica do sistema, podemos determinar outras variáveis que podem auxiliar nesta quantificação.

Quando o saco parte de seu estado de repouso e é deslocado a uma altura  $(h)$ , ele também é deslocado horizontalmente a uma distância  $(d)$ . Tendo o valor do comprimento da corda fixa que o sustenta  $(l)$ , o valor da distância horizontal deslocada  $(d)$ , podemos obter o valor de  $(h)$  através do teorema de Pitágoras (fig. 25).

$$l^2 = d^2 + (l - h)^2$$



### 5.5.5 Experimento

Foi solicitado a várias pessoas que aplicassem um golpe em uma das extremidades do saco no sentido longitudinal, ressaltando que elas deveriam interromper o percurso do braço imediatamente após a colisão, isto é, parar o movimento do braço após ter batido no saco.

Conhecendo a posição inicial do pino, e conseqüentemente, do suporte de papel e medindo a sua posição final, obtivemos o valor da distância horizontal percorrida pelo saco ( $d$ ) que é a variável necessária para quantificar a altura ( $h$ ).

Os valores da massa do saco e do comprimento da corda que o sustenta foram coletados e estão apresentados abaixo:

$$m_s = 18,50 \text{ Kg}$$

$$l = 0,74 \text{ m}$$

Através desses dados e do modelo deduzido (equação 1), pode-se calcular o impulso transferido ao saco.

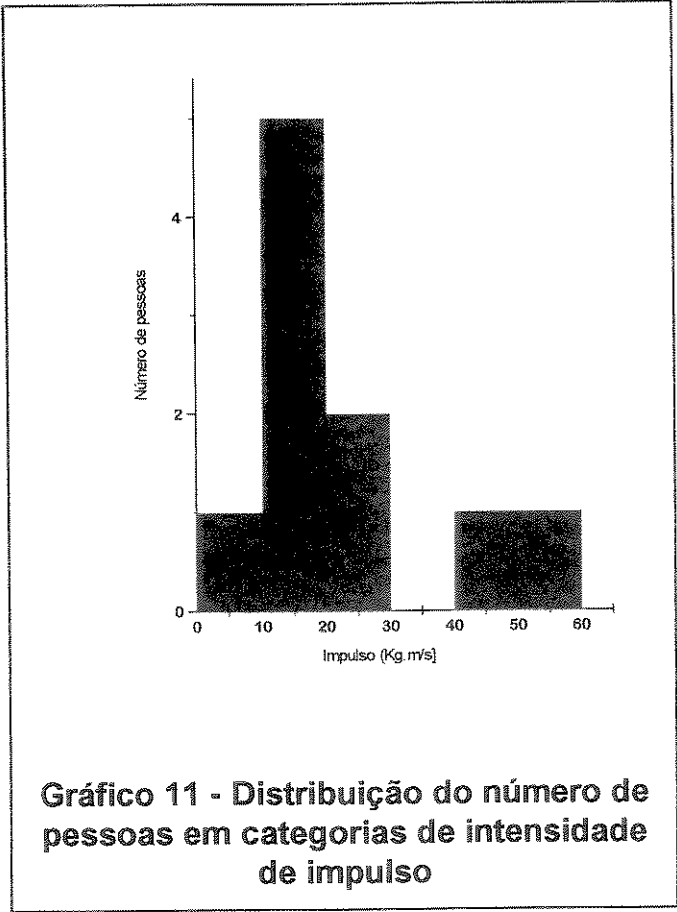
### 5.5.6 Dados

Após a realização do experimento, o impulso foi calculado. Os dados referentes à distância horizontal percorrida pelo saco ( $d$ ), à altura que o saco foi elevado ( $h$ ) e ao impulso transferido pelo saco ( $I$ ) estão apresentados na tabela abaixo.

#	d [m]	h [m]	I [Kg.m/s]
1	0.37	0.10	25
2	0.14	0.01	9
3	0.65	0.39	51
4	0.28	0.06	19
5	0.59	0.30	45
6	0.32	0.07	22
7	0.27	0.05	19
8	0.16	0.02	11
9	0.21	0.03	14
10	0.17	0.02	11

### 5.5.7 Tratamento dos Dados

Através do Impulso calculado, pode-se construir um histograma como



forma de visualização da distribuição do número de pessoas em categorias de intensidade do impulso.

#### **5.5.8 Avaliação/Conclusão**

De acordo com os objetivos traçados no início do experimento, foi possível desenvolver um modelo para quantificar o impulso transferido ao saco de treinamento de boxe.

A conexão entre as vertentes analítica e empírica foi mantida, uma vez que pelo experimento viabilizou-se a comparação dos golpes aplicados por diferentes pessoas em categorias de intensidade de impulso. Só não ocorreu o confronto entre as duas vertentes.



## 5.6 Experimento 6- calibração do medidor de velocidade de um bicicleta ergométrica

### 5.6.1 Introdução

A bicicleta é um instrumento utilizado basicamente para fins de transporte, lazer e condicionamento físico, mas também é utilizada para fins de pesquisa, no caso da avaliação da capacidade de trabalho físico, como é realizada nos laboratórios de fisiologia do exercício.

Em teste, o indivíduo é exposto a diferentes cargas de trabalho, quando ele é solicitado a pedalar, isto é, colocar em rotação o sistema de pedais e coroas. Essas cargas utilizadas são medidas de potência (P).

O indivíduo ao realizar esforço transfere sua energia para a bicicleta fazendo movimentar seus mecanismos. Durante o teste, medir a energia despendida no esforço diretamente no indivíduo é impossível. Por essa razão é que se mede no aparelho.

A potência é uma medida da taxa de variação da energia despendida para o movimento, por unidade de tempo. No entanto, como o movimento produzido é de rotação dos pedais em torno de um eixo, a potência (P) é definida pelo produto do torque ( $\tau$ ) aplicado pelo indivíduo e a velocidade angular do pedal ( $\omega_p$ ):

$$P = \tau \cdot \omega_p$$

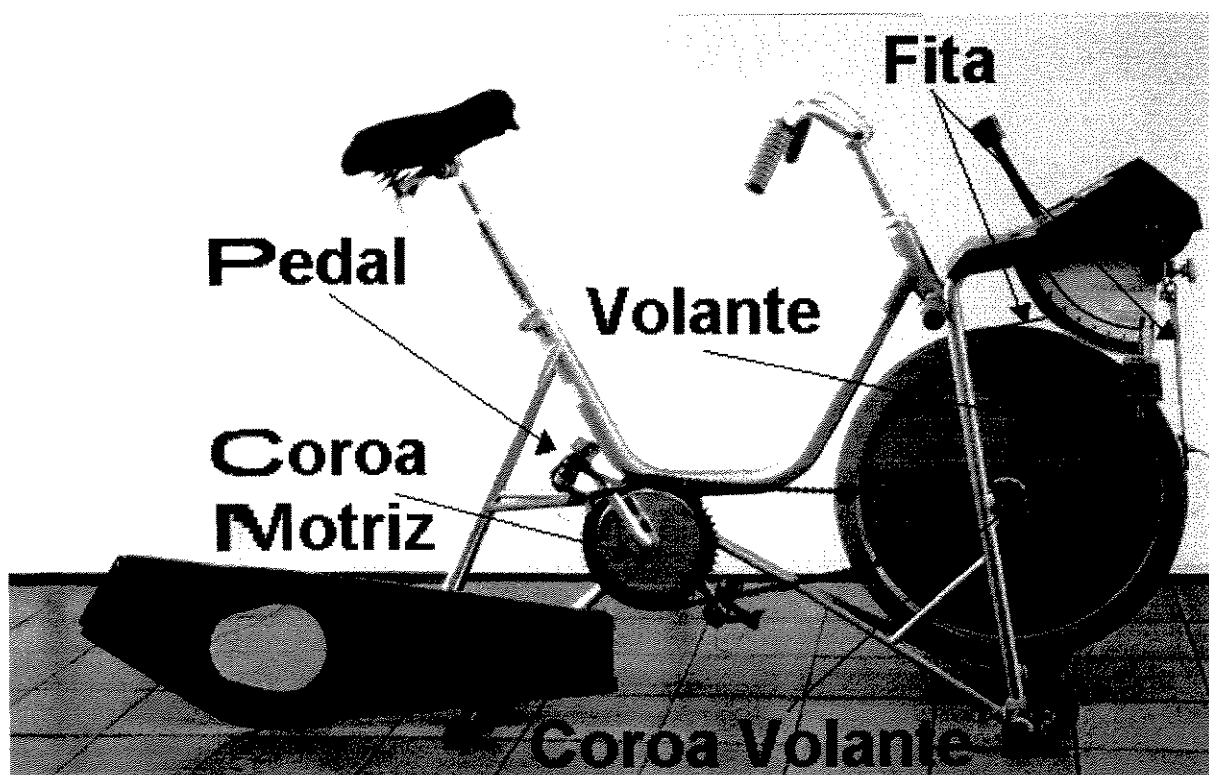
Unidades:

P (potência) em [W]

$\tau$  (torque) em [N.m]

$\omega$  (veloc. angular) em [rad/s]

A bicicleta utilizada para essas finalidades denomina-se “ergométrica”, que quer dizer medida de trabalho realizado, e sua configuração se diferencia de outras realizada para locomoção (fig. 26). O indivíduo ao pedalar produz movimento aos pedais e a toda parte funcional da bicicleta, que é constituída basicamente por duas coroas dentadas (motriz e volante), que se comunicam através de uma corrente.



**Figura 26 - Bicicleta Ergométrica**

Na coroa motriz estão instalados os pedais. Na coroa volante está conectada um volante de ferro onde atua um freio. Todas as bicicletas ergométricas têm um tipo de freio. No nosso caso o freio é denominado mecânico e atua na forma de fita ao redor da circunferência do volante de ferro. Essa fita está conectada a um sistema que permite ajustar a sua tensão. Em

testes ergométricos o atrito é variado dependendo da carga a ser utilizada no protocolo experimental.

Em alguns testes com bicicleta ergométrica é comum padronizar protocolos experimentais indicando a velocidade que o indivíduo deverá manter o pedal, uma vez que o atrito produzido é variável. Para a definição de potência, no caso da bicicleta, essa velocidade é a velocidade angular.

No entanto, na maioria das bicicletas ergométricas não existe nenhum indicador da velocidade angular do pedal ( $\omega_p$ ). O que existe é um marcador comercial que indica uma velocidade ( $V$ ) em [km/h], que por sua vez deve estar projetado para medir a velocidade de translação de uma bicicleta equipada com roda de um certo diâmetro. Um marcador desse tipo, de nada adiantaria, pois se mudássemos o raio da roda da bicicleta os valores de velocidade também mudariam.

O indivíduo em teste necessita se monitorar através do indicador de velocidade da bicicleta. Nesse caso, espera-se que haja uma relação de proporcionalidade entre as duas velocidades ( $V$  e  $\omega_p$ ), para que seja possível essa monitoração. Neste experimento a proposta do Laboratório de Ensino é verificar a linearidade entre essas velocidades.

Vale lembrar que a proposta experimental em laboratório, além da análise do fenômeno, diz respeito à aprendizagem de conceitos mecânicos aplicados na área de biomecânica. Neste caso, os tópicos envolvidos serão os seguintes:

- potência,
- torque,
- velocidade angular,
- efeito estroboscópico,
- medição de velocidade angular com um disco estroboscópico.

## BIBLIOGRAFIA =

- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. Cap. 11 e 12. 2ª ed. - Revisada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- LIESEGANG J. & LEE, A R. Dynamics of a bicycle: Nongyroscopic aspects. American Journal of Physics, v.46, n.2, p.130-2, Feb., 1978.
- MEINERS, Harry F. Physics demonstration experiments. vol. 1. New York: The Ronald Press Company, 1970.

### 5.6.2 Fenômeno

Um indivíduo pedala numa bicicleta ergométrica. Durante o movimento, a bicicleta apresenta em um marcador, uma velocidade em [km/h], pelo qual o indivíduo monitora indiretamente a velocidade angular dos pedais em [rad/s].

### 5.6.3 Objetivos

- Determinar a velocidade angular do pedal,
- Verificar a linearidade da relação entre a velocidade angular do pedal e a velocidade indicada no medidor da bicicleta,
- Determinar o raio da roda cuja velocidade tangencial corresponde à marcação do medidor da bicicleta.

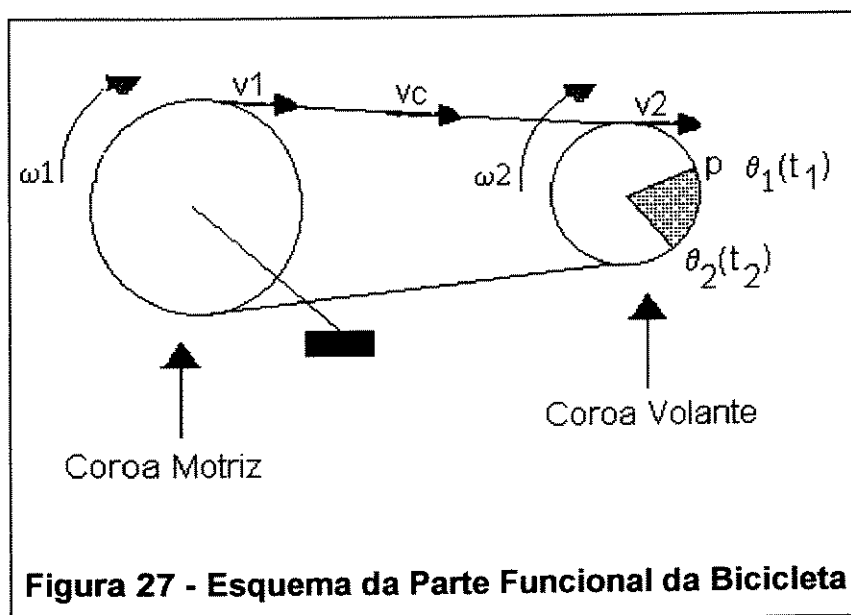
### 5.6.4 Modelo

Para determinar a velocidade angular do pedal ( $\omega_p$ ) utilizaremos o método do disco estroboscópico que exige a visão da movimentação da coroa que está sendo medida. Em nosso experimento, utilizaremos a coroa volante, pois a motriz é oculta da pelo membro inferior do indivíduo.

Em

funcionamento

durante a pedalada, ao mesmo tempo que a corrente passa por um dente da coroa motriz, ela também passa por um dente da coroa volante



**Figura 27 - Esquema da Parte Funcional da Bicicleta**

(fig.27). Como a corrente não desliza, as velocidades tangenciais das duas coroas e da corrente são iguais.

Suponhamos um ponto ( $p$ ) sobre a coroa volante que se desloque de uma posição angular ( $\theta_1$ ) no instante ( $t_1$ ) para uma posição angular ( $\theta_2$ ) no instante ( $t_2$ ).

A velocidade angular deste ponto é dado pelo limite da razão, entre o deslocamento angular ( $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ ) e o intervalo de tempo  $\Delta t$ , quando  $\Delta t$  tende a

zero. Essa relação é também conceituada como a derivada da posição angular no tempo  $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ , eq. [15].

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad [\text{rad} / \text{s}] \quad [15]$$

Analizando o movimento de rotação das duas coroas, e considerando que o número de dentes por segundo que são desfilados pela corrente são iguais para ambas, podemos obter duas relações que contribuem para equacionar  $\omega_1$  e  $\omega_2$ , que por sua vez são necessárias para calcular  $\omega_p$ .

Se considerarmos que o deslocamento angular de um ponto sobre uma das coroas durante uma volta completa é igual a  $2\pi$ , isto equivale dizer que esse deslocamento corresponde ao nº total de dentes ( $n_i$ ). Da mesma forma, desfilarão "n" dentes durante 1 segundo numa coroa animada com velocidade angular ( $\omega$ ) em rad/s.

$$\begin{array}{l} 2\pi [\text{rad}] \text{-----} n_i [\text{dentes}] \\ \omega [\text{rad} / \text{s}] \text{-----} n [\text{dentes} / \text{s}] \end{array}$$

$$\text{daí:} \quad 2\pi n = \omega_i n_i$$

Como essa relação pode ser aplicada a cada uma das coroas, temos que:

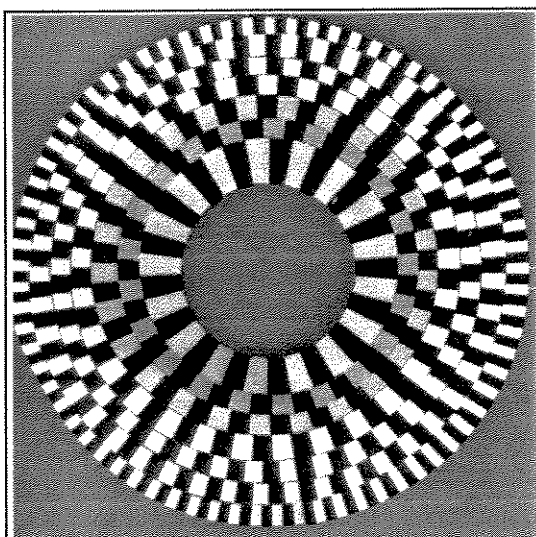
$$\text{coroa motriz: } 2\pi n = \omega_1 n_1$$

$$\text{coroa volante: } 2\pi n = \omega_2 n_2 \quad [16]$$

Combinando essas equações e levando em conta que  $\omega_1$  é igual a  $(\omega_p)$ , obtemos um meio de calcular  $(\omega_p)$  a partir de  $\omega_2$  e do números de dentes das duas coroas.

$$\omega_1 = \omega_p = \frac{n_2}{n_1} \cdot \omega_2 \quad [17]$$

Para medir  $\omega_2$ , utilizaremos um disco estroboscópico centrado no eixo do volante, girando junto com a coroa. No nosso caso, usamos um disco estroboscópico composto por sete anéis (fig. 28), desenhados sobre uma folha de papel, constituídos por pares de faixas brancas e pretas, regularmente distribuídas. Para uso prático deixamos um exemplo do disco estroboscópico em anexo.



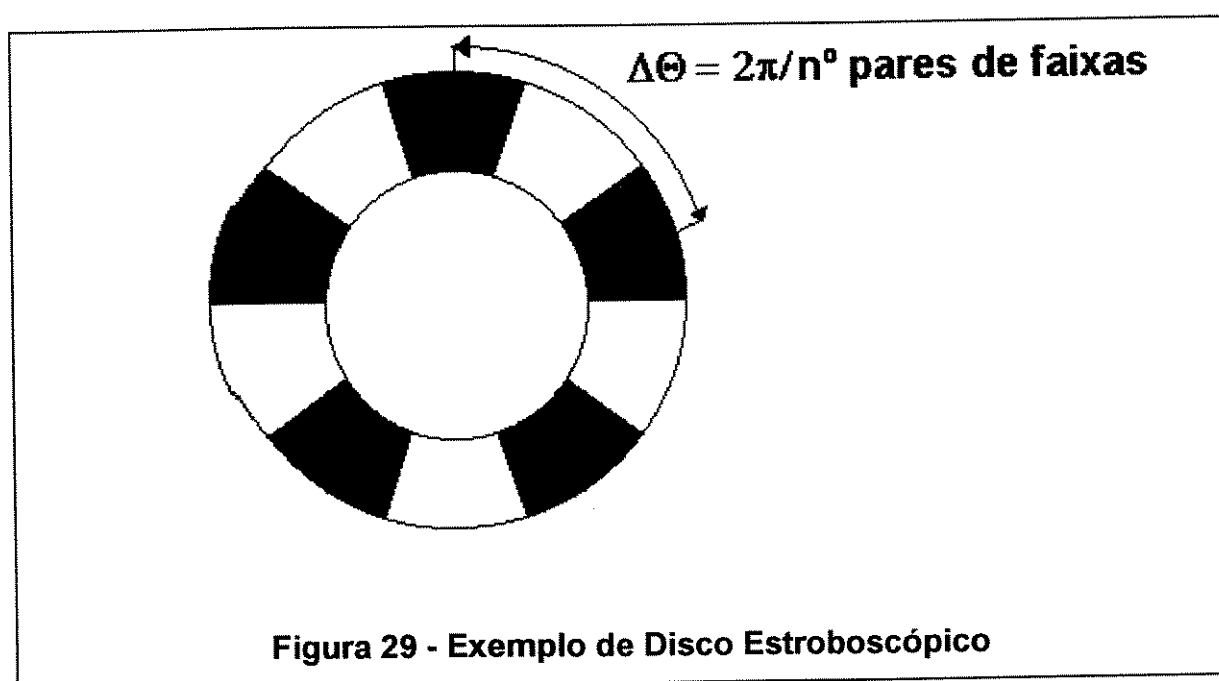
**Figura 28 - Disco Estroboscópico**

Iluminando o disco com uma luz pulsada de frequência conhecida quando ele está em rotação, surgirá um efeito visual. Esse efeito dependerá da velocidade de rotação do disco, da frequência da luz e do número de pares de faixas. Dessa forma, quando o disco estiver em rotação, poderá haver situações em que ele aparecerá todo difuso, embaralhando todas as cores ou com um ou outro anel parado.

A luz das lâmpadas fluorescentes, de uso doméstico, é pulsada a uma frequência que é duas vezes a frequência da rede que a alimenta. Se

considerarmos que uma lâmpada do tipo fluorescente, com uma frequência de rede igual a 60 Hz, seja utilizada como fonte de luz, isso corresponderá a uma fonte de luz pulsada que acende e apaga 120 vezes por segundo.

Vamos mostrar a utilização do efeito estroboscópico (MEINERS, 1970). Para tanto, utilizaremos como exemplo um disco formado por apenas um anel com cinco pares de faixas pretas e brancas (fig. 28). Consideremos que ele está em movimento e vejamos qual relação poderemos obter, para então aplicar ao disco estroboscópico do experimento e quantificar  $\omega_2$ .



A luz pulsada incide sobre o disco, acendendo e apagando 120 vezes por segundo. Em uma certa velocidade angular, o disco apesar de estar em movimento, produz um efeito dando a impressão que ele está parado.



Quando a luz ilumina o disco, uma de suas faixas ocupa uma certa posição. Após, a luz se apaga e nada se pode ver, apesar do disco continuar a rotação. No entanto, quando a luz novamente ilumina o disco, a faixa que estávamos considerando, pode ocupar exatamente, a posição de uma outra faixa, mantendo a mesma configuração anterior do disco. O que dá a impressão de estar parada.

Quando esse efeito aparece, em nosso caso, vamos considerar que entre dois pulsos de luz o disco gire de um ângulo  $\Delta\theta$  correspondente a apenas um par de faixas.

Assim, considerando que num intervalo de tempo ( $\Delta t = 1/f_l$ ,  $f_l$  = frequência da luz) o disco se desloque de um comprimento ( $\Delta\theta = 2\pi/\text{número de pares de faixas}$ ), a sua velocidade angular ( $\omega_2$ ) fica expressa da seguinte maneira:

$$\omega_2 = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\frac{2\pi}{n}}{\frac{1}{f_l}} = \frac{2\pi}{n} \cdot f_l \quad [18]$$

Essa velocidade angular calculada  $\omega_2$  corresponde à velocidade do disco quando o anel com (n) pares parecia estar parado.

Com as equações [17] e [18] podemos então, determinar os valores de  $\omega_p$ , que é o nosso primeiro objetivo. Para o anel da figura 28 o efeito estroboscópico aparece com  $\omega = 150,80$  [rad/s].

Considerando o 2º objetivo proposto, precisamos verificar a proporcionalidade entre V e  $\omega_p$ . Deseja-se determinar a constante de proporcionalidade (k) entre ambas variáveis.

$$V = k \cdot \omega_p$$

A velocidade ( $V$ ) é obtida pela leitura do medidor de velocidade da bicicleta e  $\omega_p$ , através do efeito estroboscópico e da aplicação das equações já deduzidas.

Por fim, como 3º objetivo, precisamos determinar o raio da roda ( $R$ ) que seria compatível com o marcador de velocidade, no caso de uma bicicleta normal. Para isso, como o marcador está conectado ao eixo da coroa volante, os valores de  $V$  e  $\omega_2$  deverão apresentar uma relação de proporcionalidade. A velocidade ( $V$ ) indicada pelo medidor é igual à velocidade tangencial da roda de raio ( $R$ ) que está girando com velocidade angular ( $\omega_2$ ).

Tomando a constante de proporcionalidade ( $k$ ) obtida da relação de  $V$  e  $\omega_p$  e a constante obtida da equação [20], que relaciona  $\omega_1$  com  $\omega_2$ , obteremos a constante ( $R$ ).

$$V = k \cdot \omega_p; \quad \omega_p = \frac{n_2}{n_1} \cdot \omega_2$$

$$V = k \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot \omega_2$$

$$V = R \cdot \omega_2$$

### 5.6.5 Previsão

Quanto à verificação da linearidade da relação entre  $V$  e  $\omega_p$ , a partir da combinação das equações 17 e 18, espera-se um gráfico linear com coeficiente linear igual a zero.

Com isso será possível determinar o raio (  $R$  ) da roda da bicicleta, a partir do coeficiente angular (  $k$  ) da reta do gráfico  $V$  versus  $\omega_p$  e da constante de proporcionalidade  $\frac{n_2}{n_1}$  entre  $\omega_p$  e  $\omega_2$ .

$$R = k \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

### 5.6.6 Experimento

Através do disco estroboscópico fixado no volante, determina-se a velocidade angular ( $\omega_2$ ) que é uma variável necessária para se calcular a velocidade angular do pedal ( $\omega_p$ ). Em anexo encontra-se um exemplar do disco utilizado no experimento.

Os cuidados necessários a serem tomados referem-se à tomada simultânea de ( $\omega_2$ ) e a indicação do medidor de velocidade ( $V$ ). Esses valores precisam ser tomados por pelo menos duas pessoas, uma visualizando o momento em que uma das faixas do disco estroboscópico pára e outra para realizar nesse momento a leitura do medidor de velocidade.

A quantidade de valores tomados no medidor de velocidade dependerá do número de anéis desenhadas no disco estroboscópico. Neste experimento, utilizamos sete anéis.

5.6.7 Dados

Estando o disco estroboscópico devidamente posicionado no volante, um indivíduo começa a pedalar. Para cada velocidade angular apresentada, um número é apresentado no medidor de velocidade.

A fonte de luz utilizada foi uma lâmpada fluorescente com frequência igual a 120 Hz. O número de dentes da coroa motriz e volante foram respectivamente, 52 e 14.

A incerteza sobre os valores da variável (V) foi estimada visualmente através da variação do ponteiro do medidor de velocidade.

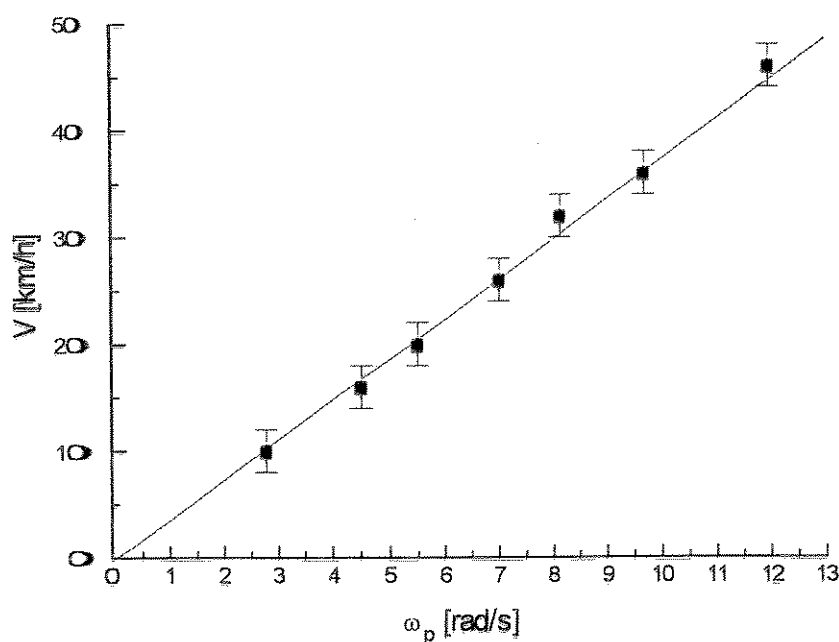
DADOS REFERENTES A  $V, \omega_p$  E  $\omega_2$

#	n	$\omega_2$ [rad/s]	V [Km/h]	$\omega_p$ [rad/s]
			$\Delta V = \pm 2$	
1	17	44,35	46	11,94
2	21	35,90	36	9,67
3	25	30,16	32	8,12
4	29	26,00	26	7,00
5	37	20,38	20	5,49
6	45	16,76	16	4,51
7	73	10,33	10	2,78

### 5.6.8 Tratamento dos Dados

Com a coleta de dados realizou-se uma análise gráfica para o tratamento dos dados. A análise sobre o gráfico de  $V$  versus  $\omega_p$  permitiu-nos avaliar:

- 1º - que o gráfico obtido é uma reta;
- 2º - que o coeficiente linear é compatível com zero;
- 3º - o coeficiente de proporcionalidade, ou seja, o coeficiente angular da reta.



**Gráfico 12 - Gráfico das medidas de velocidade ( $V$ ) versus a velocidade angular do pedal ( $\omega_p$ ) mostrando os dados experimentais (pontos), a incerteza associada a cada medida de  $V$  (barras verticais) e a reta ajustada.**

### 5.6.9 Avaliação/Conclusão

Considerando o modelo proposto e sobretudo as incertezas associadas à variável  $V$ , ajustamos uma reta com coeficiente linear nulo, entre os pontos amostrais. Através da análise gráfica (gráf. 12), obtivemos os valores dos coeficientes angular ( $k$ ) e linear ( $a$ ) e de suas incertezas:

$$k = 3,71 \pm 0,09 \text{ [km.s.h}^{-1}\text{]}, \quad a = 0 \pm 0,76 \text{ [Km/h]}$$

$$\frac{\text{km.s}}{h} = 1000m \cdot \frac{1[s]}{3600[s]} = 0,28m$$

$$k = 1,04 \pm 0,03 \text{ [m]}, \quad a = 0 \pm 0,21 \text{ [m/s]}$$

Como resultado, verificou-se que o gráfico encontrado experimentalmente corresponde ao deduzido na previsão, possibilitando a determinação da constante de proporcionalidade entre o medidor de velocidade da bicicleta e a velocidade angular do pedal.

Através do valor da constante ( $k$ ), determinou-se o raio da roda ( $R$ ) que seria compatível com o marcador de velocidade da bicicleta:

$$R = 1,00 \pm 0,02 \text{ [km.s.h}^{-1}\text{]}$$

$$\frac{\text{km.s}}{h} = 1000 \text{ [m]} \cdot \frac{1[s]}{3600[s]} = 0,28 \text{ [m]}$$

$$R = 0,28 \pm 0,01 \text{ [m]}$$

O valor encontrado foi compatível às bicicletas encontradas comercialmente.

## 5.7 Experimento 7 - Aplicação da conservação do momento angular no movimento de rotação de um corpo

### 5.7.1 Introdução

Neste experimento estudaremos um exemplo de aplicação da conservação do momento angular durante o movimento de rotação de um corpo.

Para casos nos quais um corpo gira em torno de um eixo de simetria que passa pelo seu centro de massa, o momento angular ( $L$ ) ou quantidade de movimento na rotação é conceituado como o produto entre o seu momento de inércia ( $I$ ) e sua velocidade angular ( $\omega$ ):

$$L = I \cdot \omega$$

Unidades:  
 $L$  em  $[\text{Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}]$  ou  $[\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}]$   
 $I$  em  $[\text{Kg} \cdot \text{m}^2]$   
 $\omega$  em  $[\text{rad/s}]$

O momento de inércia ( $I$ ) em relação a um eixo é um parâmetro inercial na rotação, análogo à massa na translação. E a velocidade angular ( $\omega$ ) é a velocidade de rotação do corpo, análogo à velocidade escalar ( $V$ ) na translação.

Dizemos que o momento angular ( $L$ ) é conservado quando nenhum torque externo atua sobre o corpo durante seu movimento de rotação, mesmo que ocorra alterações internas de sua configuração.

Assim, a conservação do momento angular é expressa da seguinte maneira, tomando duas situações distintas (1 e 2) durante o movimento de rotação:

$$\begin{aligned}L_1 &= L_2 \\ I_1\omega_1 &= I_2\omega_2\end{aligned}\quad [19]$$

Observe que segundo essa equação, se  $I_1$  for maior que  $I_2$ , conseqüentemente  $\omega_2$  será maior que  $\omega_1$ . O contrário acontece se  $I_2$  for maior que  $I_1$ . Ou seja, modificando a distribuição de massa do corpo em rotação pode-se alterar a sua velocidade angular.

Na Educação Física encontramos exemplos de aplicação da conservação do momento angular. Podemos destacar o caso de um atleta de salto ornamental que durante a sua trajetória no ar executa giros em torno do seu centro de massa; ou mesmo o caso de um ginasta que sobre uma cama elástica realiza saltos mortais durante a fase de vôo. Nesses casos o momento angular se mantém constante, pois quando ambos atletas estão no ar, eles se constituem sistemas isolados e nenhum torque externo age sobre eles (estamos desprezando a resistência do ar).

Outro exemplo de ilustração da conservação do momento angular pode ser observado na trajetória de um disco lançado no atletismo. Nota-se que ele percorre uma longa distância durante o vôo, girando em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa. Esse eixo mantém praticamente a mesma orientação ao longo da trajetória.

Vejamos mais detalhadamente como as variáveis envolvidas na conservação do momento angular se comportam durante um movimento de rotação. Vamos exemplificar com um movimento de giro executado por um patinador no gelo ou bailarina.



Nota-se que durante a sua movimentação, ele controla sua velocidade angular ( $\omega$ ) pelo posicionamento de seus braços em relação ao eixo que passa pelo ponto de apoio do pé em contato com o solo. Com isso ele varia a distribuição de massa e conseqüentemente o momento de inércia.

Neste caso, podemos identificar duas situações: 1 - quando em movimento de rotação, o indivíduo mantém seus braços junto do corpo; 2 - quando em movimento, ela tem seus braços longe do corpo. Na primeira situação observamos que  $I_1$  é menor e o movimento de rotação fica mais rápido, o contrário ocorrendo quando seus braços são afastados, ou seja,  $I_2$  maior e o movimento de rotação fica mais lento.

No fenômeno descrito, como os torques externos aplicados ao corpo do patinador durante a execução do giro são fracos, o momento angular deve se manter constante.

Isso significa dizer que, as duas situações (1 e 2), de fechar e abrir os braços, produzem respectivamente, uma redução e um aumento do momento de inércia do corpo ( $I_1$  e  $I_2$ ) que vêm acompanhados, de um aumento e uma redução compensatória da velocidade angular ( $\omega_1$  e  $\omega_2$ ).

Para estudar a conservação do momento angular em situação laboratorial, construímos uma montagem constituída basicamente de tubo de pvc, canaleta metálica e esferas de aço (fig. 30).

Essa montagem suspensa por um fio, permanece livre para movimentar-se em torno do eixo vertical. O atrito é desprezível.

Durante a movimentação da montagem as situações (1 e 2) já relatadas podem ser reproduzidas.

Não são mais os braços do indivíduo que se movimentam,

modificando o momento de inércia, mas são as esferas de aço que reproduzem esse efeito.

Na primeira situação, duas esferas são mantidas em posições simétricas, perto do eixo de rotação, sobre uma canaleta através de um

sistema de trava. No experimento as esferas

são liberadas, permitindo que elas rolem sobre a canaleta e se posicionem em outro local mantendo a simetria. Esse novo local é determinado por aparadores de acrílico posicionados sobre a canaleta (fig. 31).

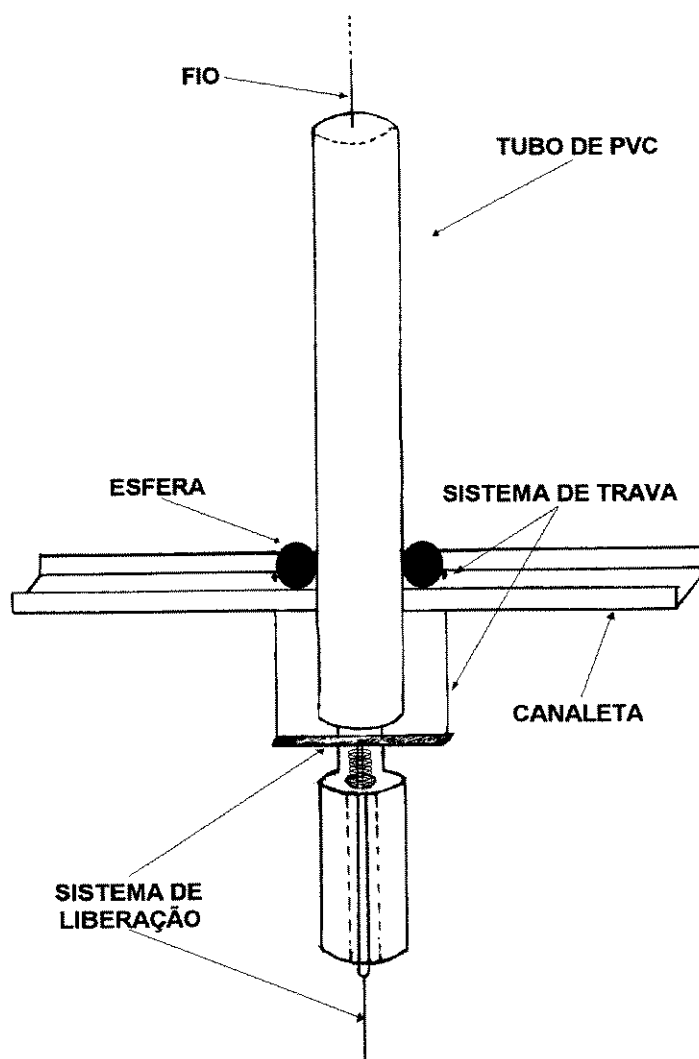
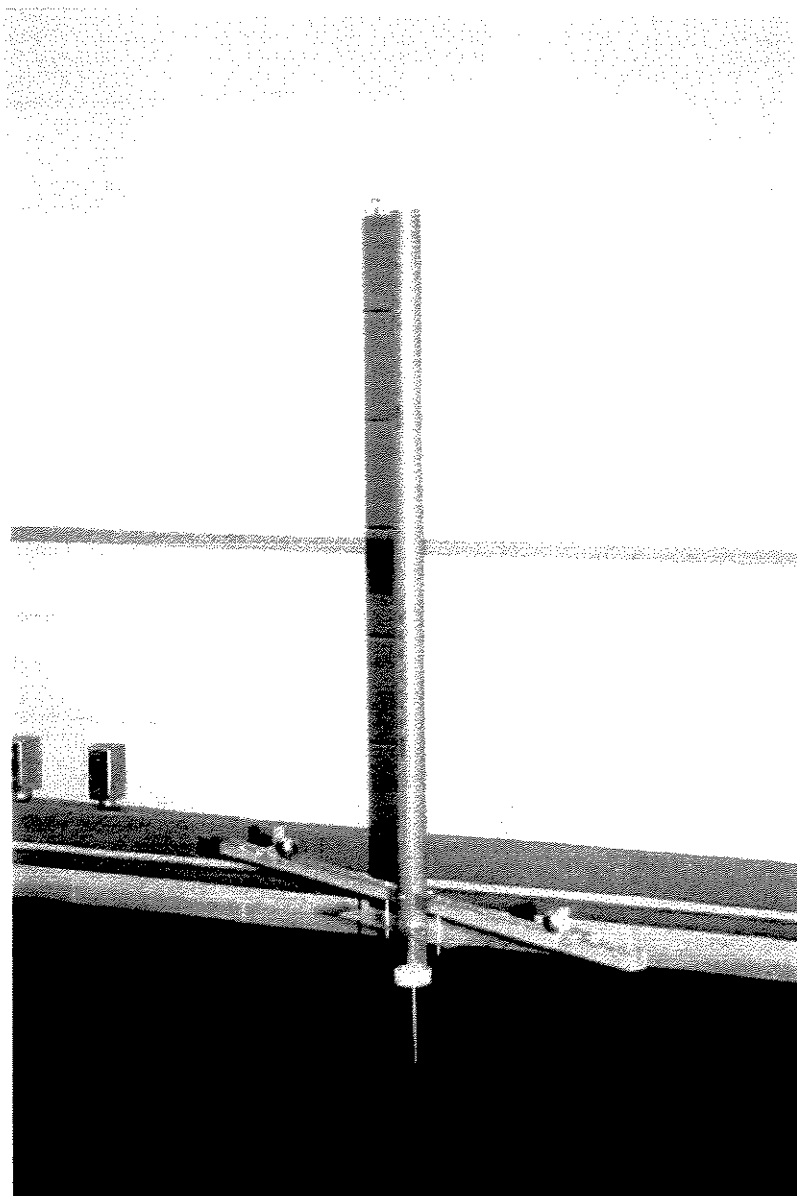


Figura 30 - Esquema da Montagem Experimental (esferas na posição inicial)



**Figura 31 - Montagem Experimental  
(esferas na posição final)**

Na segunda situação, as duas esferas são mantidas em posições simétricas, no entanto, a uma certa distância ( $d$ ) do eixo de rotação.

O sistema de liberação das esferas realiza um movimento vertical e não interfere no movimento da montagem, garantindo que nenhum torque externo seja aplicado.

Durante a execução do experimento, estaremos abordando os conceitos tratados nesta introdução: São eles:

- Momento de Inércia, teorema dos eixos paralelos,
- Velocidade Angular,
- Momento Angular,
- Conservação do Momento Angular.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

- FROHLICH, Cliff. Do springboard divers violate angular momentum conservation? American Journal of Physics. 47(7), 583-592, July, 1979.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. Cap. 11 e 12. 2ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.
- TIPLER, P.A. Física. Volume 1, Cap. 4 e 12, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1991.

#### **5.7.2 Objetivo**

- Estudar o momento angular e sua conservação, através de um experimento de laboratório.

#### **5.7.3 Fenômeno**

Um objeto gira com pouco atrito, em torno do seu eixo de simetria vertical (fig. 29). Durante o movimento, a distribuição de massa em relação a esse eixo é modificada através do deslocamento de duas esferas de aço. Com isso, observa-se e estuda-se a variação da velocidade angular resultante.

#### 5.7.4 Modelo

Tomemos a figura 30 como o esquema da montagem experimental e a consideremos em movimento de rotação em torno do eixo vertical. Observe que as esferas estão posicionadas, simetricamente, próximas ao eixo de rotação. A essa configuração da montagem denominaremos situação 1.

Após alguns segundos, o sistema de liberação é acionado e as duas esferas rolam sobre a canaleta até encontrar anteparos que as fazem estacionar em outra posição de simetria. A essa nova configuração denominaremos situação 2.

O que pretendemos estudar é a conservação do momento angular. Tomando duas situações distintas durante o movimento de rotação de um corpo, a conservação do momento angular ( $L$ ) é expressa da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 \\ I_1\omega_1 &= I_2\omega_2 \quad [19] \end{aligned}$$

Isto é, o momento angular da primeira situação ( $I_1\omega_1$ ) é igual ao momento angular da segunda ( $I_2\omega_2$ ).

Assim, para estruturação do modelo precisamos determinar o momento de inércia da montagem para as duas situações consideradas ( $I_1$  e  $I_2$ ), uma vez que  $\omega_1$  e  $\omega_2$  poderão ser determinados experimentalmente através de medição manual.

O momento de inércia ( $I$ ) é definido como a somatória dos produtos da massa de cada partícula ( $m$ ) de um corpo rígido pelo quadrado de sua distância ( $r$ ) ao eixo considerado:

$$I = \sum m_i r_i^2$$

Para muitos corpos com forma geométrica simples, os livros de mecânica apresentam tabelas com as fórmulas dos momentos de inércia. Essas tabelas são encontradas nos capítulos referentes ao momento de inércia.

Na montagem experimental consideramos basicamente duas partes:

1 - as esferas, e

2 - o corpo, formado pelo tubo de pvc, pela canaleta e pelos outros componentes menores.

No conjunto, o momento de inércia total da montagem será definido como a somatória dos momentos de inércia das duas partes consideradas, identificados pelos seguintes símbolos:

1 - Cada Esferas ( $I_e$ ),

2 - Corpo ( $I_c$ ).

Assim, para cada situação (1 e 2) a equação 19 passa a ser escrita em função de  $I_e$  e  $I_c$ . Lembramos que para cada situação existem duas esferas posicionadas simetricamente em relação ao eixo de rotação.

$$(2I_e + I_c)_1 \omega_1 = (2I_e + I_c)_2 \omega_2 \quad [20]$$

Falta agora explicitarmos e quantificarmos esses dois momentos de inércia. Iniciaremos pela contribuição das duas esferas nas posições correspondentes às situações 1 e 2. Mas desde já, podemos observar que o momento de inércia do corpo da montagem ( $I_c$ ) é constante, isto é, terá o

mesmo valor nas situações 1 e 2 do experimento. Estimaremos seu valor mais adiante.

O momento de inércia de uma esfera em relação a um eixo passando pelo seu centro de massa ( $I_{cm}$ ) é definido por:

$$I_{cm} = \frac{2}{5} m_e R^2$$

$m_e$  = massa da esfera  
 $R$  = raio da esfera

No nosso caso, como estamos considerando o eixo de rotação no centro da montagem (eixo de simetria), a expressão do momento de inércia ( $I_e$ ) para as esferas é determinada a partir do teorema de eixos paralelos. Esse teorema relaciona o momento de inércia de um corpo em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa ( $I_{cm}$ ), ao momento de inércia do mesmo corpo em relação a um outro eixo (distância  $d$ ), paralelo ao primeiro. Na nossa montagem o eixo considerado é sempre vertical no centro (fig. 32).

$$I_e = I_{cm} + m_e d^2$$

$I_e$  = Momento de inércia de uma esfera  
 $I_{cm}$  = Momento de Inércia da esfera em relação a um eixo passando pelo seu centro de massa  
 $m_e$  = massa da esfera  
 $d$  = distância do centro de massa das esfera até o eixo de rotação

Assim, o momento de inércia de cada uma das esferas quando posicionadas a uma distância “ $d$ ” do eixo de rotação da montagem, fica expresso como:

$$I_e = \frac{2}{5} m_e R^2 + m_e d^2 \quad [21]$$

$m_e$  = massa das esferas  
 $R$  = raio das esferas  
 $d$  = distância do centro de massa das esferas até o eixo de rotação a ser considerado

Lembremos que para cada situação experimental (1 e 2) teremos duas esferas, simetricamente distribuídas em relação ao eixo de rotação. E para cada situação teremos uma determinada distância ( $d$ ), do centro de massa das esferas ao eixo de rotação ( $d_1$  e  $d_2$ ).

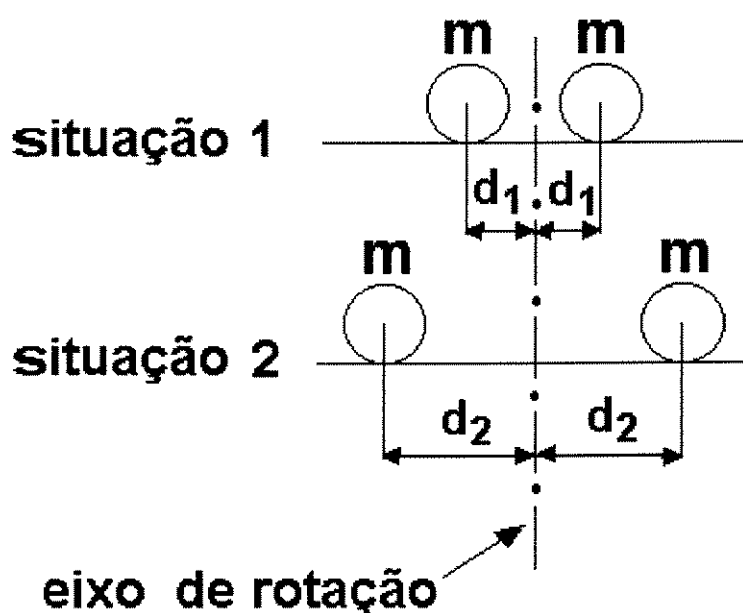


Figura 32 - Esquema das situações 1 e 2

Sob essas considerações e aplicando a equação 21, na equação 20 temos que:

$$\left[ 2 \left( \frac{2}{5} m_e R^2 + m_e d_1^2 \right) + I_c \right] \omega_1 = \left[ 2 \left( \frac{2}{5} m_e R^2 + m_e d_2^2 \right) + I_c \right] \omega_2$$

$$\left[ \frac{4}{5} m_e R^2 + 2m_e d_1^2 + I_c \right] \omega_1 = \left[ \frac{4}{5} m_e R^2 + 2m_e d_2^2 + I_c \right] \omega_2$$



Note agora, que nesta equação podemos destacar uma expressão que é constante para ambos os lados da igualdade e que representa um certo valor de momento de inércia. Definiremos essa expressão pelo símbolo  $I$ .

$$I = \frac{4}{5} m_e R^2 + I_c \quad [22]$$

Assim o modelo pode ser expresso de forma mais condensada e obtém-se uma equação que relaciona a razão das velocidades angulares ( $\omega_1 / \omega_2$ ) em função do quadrado da distância do centro de massa da esfera, na situação 2, ao eixo de rotação.

$$\begin{aligned} (I + 2m_e d_1^2) \omega_1 &= (I + 2m_e d_2^2) \omega_2 \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= \left( \frac{2m_e}{I + 2m_e d_1^2} \right) d_2^2 + \left( \frac{I}{I + 2m_e d_1^2} \right) \end{aligned} \quad [23]$$

Neste momento, já temos o modelo experimental. Essa equação é linear do tipo  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = a \cdot d_2^2 + b$ . Basta-nos agora estimar o momento de inércia do corpo da montagem ( $I_c$ ), que é uma das constantes necessárias para se comparar numericamente os coeficientes desta equação (vide também eq. 22).

O momento de inércia do corpo da montagem é dado pela somatória dos momentos de inércia do tubo de pvc, da canaleta e dos outros componentes menores. Em nível de estimativa, vamos estimar esses componentes menores no cálculo do momento de inércia do corpo. Para esses cálculos faremos uso das tabelas de momento de inércia, encontradas nos livros de mecânica básica, por exemplo (HALLIDAY, 1993).

O momento de inércia do tubo ( $I_T$ ), em relação ao seu eixo de simetria é definido por:

$$I_T = m_T (r_{Ti}^2 + r_{Te}^2) \quad [24]$$

$m_T$  = massa do tubo  
 $r_{Ti}$  = raio interno do tubo  
 $r_{Te}$  = raio externo do tubo

Para fins de cálculo do momento de inércia da canaleta ( $I_{ca}$ ), observamos que, frente ao seu comprimento, as suas dimensões transversais tem uma contribuição desprezível. Assim, o momento de inércia da canaleta, poderá ser calculado como o momento de inércia de uma vareta delgada de mesmo comprimento ( $L$ ) e massa( $m_{ca}$ ), expresso por:

$$I_{ca} = \left( \frac{m_{ca} L^2}{12} \right) \quad [25]$$

$m_{ca}$  = massa da canaleta  
 $L$  = comprimento da canaleta

Somando essas duas equações (24 e 25) temos a equação que estima o momento de inércia do corpo da montagem ( $I_c$ ), sem as esferas:

$$I_c = m_T (r_{Ti}^2 + r_{Te}^2) + \left( \frac{m_{ca} L^2}{12} \right) \quad [26]$$

Com esta equação, acabamos por definir todos os elementos relacionados ao modelo (eq. 23) e que serão necessários para estimar os valores dos coeficientes angular e linear.

### 5.7.5 Previsão:

Lembramos novamente, que o modelo (eq. 23) é uma equação do tipo

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = a \cdot d_2^2 + b$ . O modelo é uma equação do 1º grau entre  $(\omega_1/\omega_2)$  e  $d_2^2$ . Para

um gráfico **entre** essas duas variáveis, espera-se uma reta com coeficientes linear e angular **r** igual a:

$$\text{Coeficiente Linear (b): } \frac{I}{I + 2m_e d_1^2}$$

$$\text{Coeficiente Angular (a): } \frac{2m_e}{I + 2m_e d_1^2}$$

Os **valores** desses coeficientes poderão ser comparados com os valores estimados a **partir** das equações 22 e 25.

### 5.7.6 Experimento

A **montagem** é suspensa por um fio comprido (cerca de 2 [m]). Inicialmente **as** esferas estão mantidas à distância ( $d_1$ ) do eixo de rotação gerando assim a situação 1. Com um torque inicial aplicado manualmente no tubo da **monta gem**, inicia-se um movimento de rotação.

Nessa **Situação 1** (fig. 2), mede-se  $\omega_1$  cronometrando o tempo necessário para cada **volta** dada pela montagem. Lembramos que cada volta corresponde a  $2\pi$  radianos.

Imediat**amente**, aciona-se o sistema de liberação na base da montagem, liberando as **esferas** de aço, que se deslocarão até a posição  $d_2$  (situação 2). Nessa **situação**, determina-se  $\omega_2$ .

Durante a realização do experimento é recomendável, procurar reproduzir a **mesma** velocidade de lançamento e acionar o sistema de liberação sempre na **vertical** garantindo assim a estabilidade do eixo de rotação. Recomendamos também, utilizar um fio único, resistente e de calibre pequeno,

para que esse não venha a produzir torque próprio durante o movimento da montagem.

### 5.7.7 Dados

Antes mesmo de iniciar o experimento, obtemos os valores constantes, referentes à dimensão da montagem. São eles:

#### Esfera:

massa ( $m_e$ ):  $70 \pm 0,1$  [g]

raio ( $R$ ):  $1,27 \pm 0,05$  [cm]

#### Canaleta:

massa ( $m_{ca}$ ):  $120 \pm 0,1$  [g]

$l$  = comprimento:  $71 \pm 0,05$  [cm]

#### Tubo:

massa ( $m_T$ ):  $260 \pm 0,1$  [g]

raio interno ( $r_{Ti}$ ):  $1,44 \pm 0,05$  [cm]

raio externo ( $r_{Te}$ ):  $1,73 \pm 0,05$  [cm]

Durante o experimento medimos, em seqüência, as seguintes variáveis envolvidas no modelo:

- 1)  $d_2$  (distância do centro de massa da esfera, na situação 2, ao eixo de rotação). A distância  $d_1$  é constante em todo o experimento ( $d_1 = 3,13 \pm 0,05$  [cm]).
- 2)  $\omega$  (velocidade angular) nas situações 1 e 2. Para quantificar  $\omega$  medimos o tempo de três voltas dadas pela montagem.

Como as incertezas das variáveis medidas  $d_2$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $\omega_1$  e  $\omega_2$  são propagadas para as variáveis calculadas ( $d_2^2$  e  $\omega_1/\omega_2$ ), apresentamos abaixo as equações de propagação de erro que são utilizadas para calcular essas incertezas:

Incerteza sobre  $d_2^2$ :

$$\begin{aligned} f(d_2) &= d_2^2 \\ \frac{\Delta f}{f} &= \left| \alpha \frac{\Delta d_2}{d_2} \right| \\ \frac{\Delta d_2^2}{d_2^2} &= 2 \frac{\Delta d_2}{d_2} \\ \Delta d_2^2 &= 2 d_2 \Delta d_2 \end{aligned}$$

Incerteza sobre  $\omega$ :

$$\begin{aligned} f(\Theta, t_i) &= \omega_i = \frac{\Theta}{t_i}; \quad i = 1:2 \\ \Delta \omega_i &= \sqrt{\left( \frac{\Delta t_i}{t_i} \right)^2} \omega_i \end{aligned}$$

Incerteza sobre  $(\omega_1/\omega_2)$ :

$$\Delta \frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{\left( \frac{\Delta \omega_1}{\omega_1} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \omega_2}{\omega_2} \right)^2} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

#	d <sub>2</sub> =posição final			tempo para três voltas								$\frac{\omega_1}{\omega_2} \pm \Delta \frac{\omega_1}{\omega_2}$
	d <sub>2</sub> [cm]	d <sub>2</sub> <sup>2</sup> [cm <sup>2</sup> ]	Δ d <sub>2</sub> <sup>2</sup> [cm <sup>2</sup> ]	t <sub>1</sub> [s]	t <sub>2</sub> [s]	ω <sub>1</sub> [rad/s]	Δω <sub>1</sub> [rad/s]	ω <sub>2</sub> [rad/s]	Δω <sub>2</sub> [rad/s]	ω <sub>1</sub> /ω <sub>2</sub>	Δ(ω <sub>1</sub> /ω <sub>2</sub> )	
	Δd <sub>2</sub> =0,2			Δt <sub>1</sub> =0,2	Δt <sub>2</sub> =0,2							
1	9,5	90	4	3,66	6,61	5,15	0,28	2,85	0,09	1,81	0,11	1,81 ± 0,12
				3,15	5,71	5,98	0,38	3,30	0,12	1,81	0,13	
				3,38	6,11	5,58	0,33	3,09	0,10	1,81	0,12	
2	11,5	132	5	3,77	7,19	5,00	0,27	2,62	0,07	1,91	0,12	2,06 ± 0,14
				3,12	6,78	6,04	0,39	2,78	0,08	2,17	0,15	
				3,12	6,56	6,04	0,39	2,87	0,09	2,11	0,15	
3	13,5	182	5	3,16	6,20	5,97	0,38	3,04	0,10	1,96	0,14	2,04 ± 0,14
				3,08	6,37	6,12	0,40	2,96	0,09	2,07	0,15	
				3,71	7,72	5,08	0,27	2,44	0,06	2,08	0,12	
4	15,5	240	6	3,18	7,77	5,93	0,37	2,43	0,06	2,44	0,16	2,53 ± 0,18
				2,67	7,04	7,06	0,53	2,68	0,08	2,63	0,21	
				3,17	8,04	5,95	0,38	2,35	0,06	2,53	0,17	
5	17,5	306	7	2,76	7,55	6,83	0,50	2,50	0,07	2,73	0,21	2,63 ± 0,18
				3,39	9,32	5,56	0,33	2,02	0,04	2,75	0,17	
				3,39	8,14	5,56	0,33	2,32	0,06	2,40	0,16	
6	19,5	380	8	3,17	9,49	5,95	0,38	1,99	0,04	2,99	0,20	2,81 ± 0,19
				2,94	8,22	6,41	0,44	2,29	0,06	2,80	0,21	
				3,28	8,64	5,75	0,35	2,18	0,05	2,64	0,17	
7	21,5	462	9	3,21	10,31	5,87	0,37	1,83	0,04	3,21	0,21	3,02 ± 0,19
				3,33	9,97	5,66	0,34	1,89	0,04	3,00	0,19	
				3,60	10,27	5,24	0,29	1,84	0,04	2,85	0,17	
8	23,5	552	9	3,18	10,33	5,93	0,37	1,83	0,04	3,24	0,21	3,37 ± 0,22
				3,32	10,96	5,68	0,34	1,72	0,03	3,30	0,21	
				3,25	11,63	5,80	0,36	1,62	0,03	3,58	0,23	
9	25,5	650	10	3,31	13,50	5,70	0,34	1,40	0,02	4,07	0,25	4,12 ± 0,25
				3,18	12,79	5,93	0,37	1,47	0,02	4,03	0,26	
				3,72	15,81	5,07	0,27	1,19	0,02	4,26	0,24	
10	27,5	756	11	2,80	11,18	6,73	0,48	1,69	0,03	3,98	0,50	4,13 ± 0,35
				3,43	14,62	5,50	0,38	1,29	0,02	4,26	0,30	
				3,55	14,76	5,31	0,30	1,28	0,02	4,15	0,24	

Tabela: dados relativos ao experimento descrito no item 5.7.6.

5.7.8 Tratamento de Dados:

A partir dos valores apresentados na tabela, construímos um gráfico entre as variáveis  $(\omega_1/\omega_2)$  e  $(d_2^2)$ . Isso nos possibilitou verificar a linearidade dessa relação, calculando os coeficientes linear e angular do gráfico e comparando-os com os coeficientes apresentados pelo modelo.

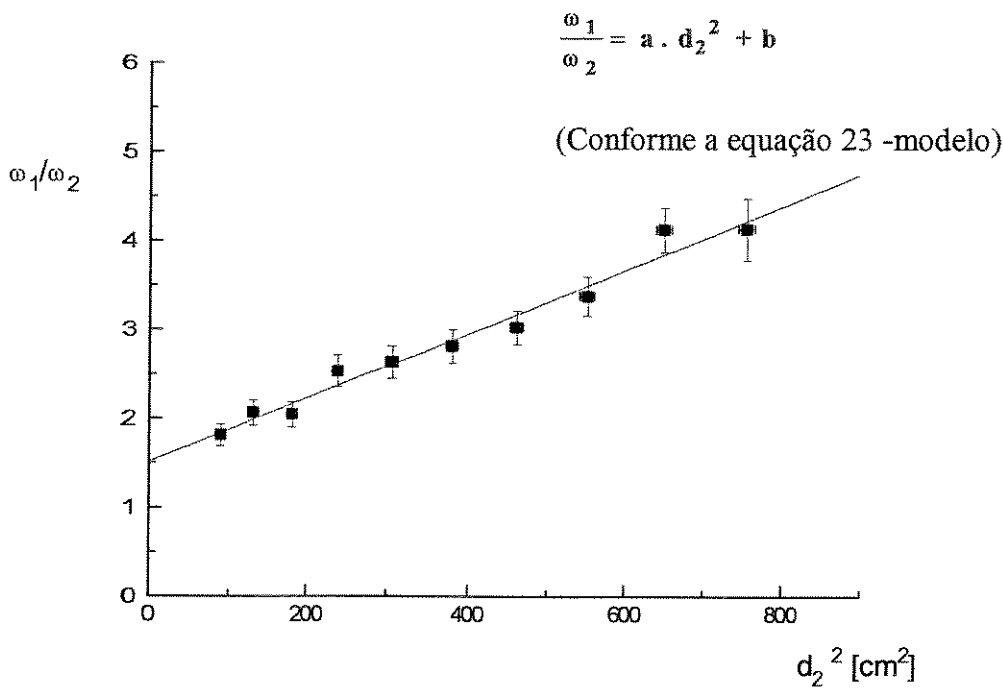


Gráfico 13 - gráfico linear entre  $(\omega_1/\omega_2)$  e  $(d_2^2)$

A partir do ajuste de uma reta, por quadrados mínimos, calculamos os coeficientes linear (b) e angular (a) e suas incertezas:

Coeficiente Linear:

b:  $1,48 \pm 0,25$  [1]

Coeficiente Angular:

a:  $0,0035 \pm 0,0006$  [cm²]

Utilizando o modelo proposto estimamos também os mesmos coeficientes a partir dos dados da montagem:

Coeficiente Linear:

$$b: 0,97 [1]$$

Coeficiente Angular:

$$a: 0,0026 [\text{cm}^{-2}]$$

### 5.7.9 Avaliação/Conclusão

Observando a configuração do gráfico 13, podemos inferir que existe uma linearidade na relação entre a razão das velocidades angulares ( $\omega_1/\omega_2$ ) e o quadrado da distância ( $d_2^2$ ) do centro de massa das esferas até o eixo de rotação. No entanto, precisamos também examinar os valores dos coeficientes angular e linear, encontrados pelo ajuste e pelo modelo.

Inicialmente vamos discutir sobre os valores encontrados para o coeficiente angular. Frente às simplificações feitas para se calcular o momento de inércia do corpo da montagem ( $I_c$ ), consideramos que o seu valor calculado é uma estimativa relativamente grosseira. Dessa forma, consideramos que o valor do coeficiente angular obtido tanto pelo ajuste quanto pelo modelo é compatível.

Em relação ao coeficiente linear não podemos utilizar as mesmas justificativas, uma vez que pela previsão deveríamos obter um valor sempre abaixo de 1,00. O denominador da expressão do coeficiente linear é maior do



que o seu numerador. Observamos ainda uma discrepância de 50% a mais para o valor experimental no movimento de rotação. Assim, o fato merece considerações especiais.

Diante de tal problema procuramos analisar se o excesso do valor do coeficiente linear não estaria relacionado com o atrito, principalmente do ar.

Observamos que a montagem em movimento de rotação, apresentava redução de sua velocidade angular ao longo do tempo, mesmo sem haver interferência externa humana.

Nosso modelo considera a hipótese do atrito ser desprezível. Logo  $\omega_1$  é uma velocidade angular constante até o momento do disparo e  $\omega_2$  constante após o disparo.

Com atrito, haverá uma redução de  $\omega_1$  entre o instante da sua cronometragem e o momento do acionamento do sistema de liberação das esferas. Da mesma forma,  $\omega_2$  sofrerá redução, do momento da chegada das esferas à situação 2 até a sua cronometragem.

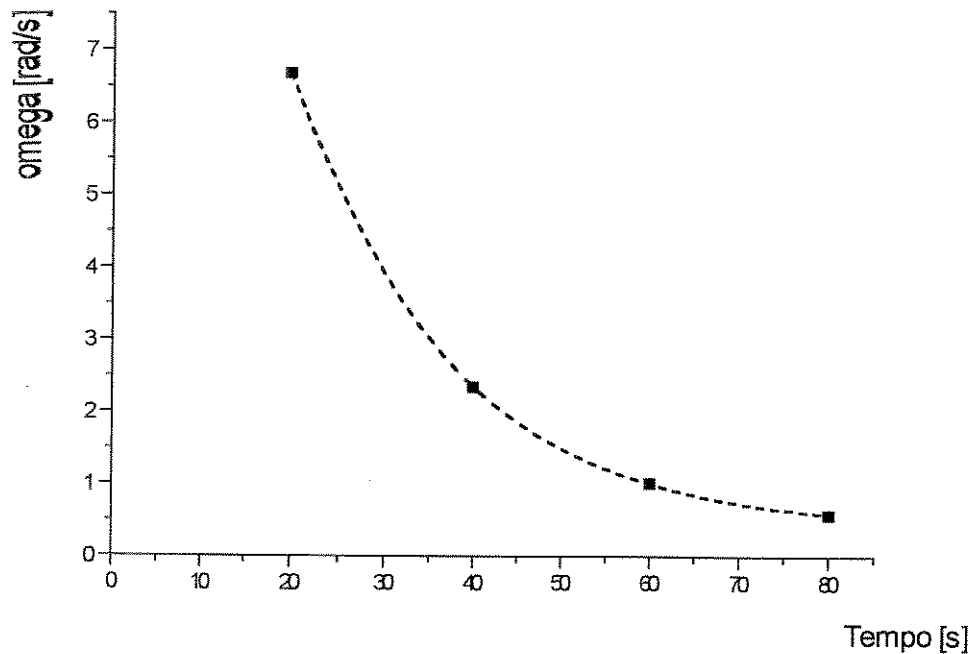
Essas diferenças serão tanto mais acentuadas quanto maior for o intervalo de tempo entre a medição das velocidades angulares ( $\omega$ ) nas situações 1 e 2.

Consideramos que o atrito estaria relacionado então com a força de arrasto no ar, o que permite prever uma variação exponencial da velocidade angular ( $\omega$ ) em função do tempo, do tipo:

$$\omega = \omega_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Assim, medimos o decréscimo de omega em função do tempo, ajustamos uma função exponencial para o decaimento da velocidade angular, cujo

resultado é  $\omega = 0,39 + 4,59 \cdot e^{\left(-\frac{(t-25,41)}{17,15}\right)}$  e construímos o gráfico 14.



**Gráfico 14 - Decaimento da velocidade angular - modelo exponencial**

O gráfico mostra um forte decréscimo de omega. Para o nosso experimento, considerando um intervalo de tempo de 5 segundos entre as duas cronometragens de ( $\omega$ ), observamos no gráfico 14, que nesse intervalo de tempo a velocidade angular se reduziu pela metade.

Assim sendo, sem disparar o sistema de liberação das esferas, a razão  $\omega_1/\omega_2$ , pelo atrito, atingiu o valor 2 em 5 segundos. Mostrando assim, que o

efeito do atrito tende a aumentar o valor da variável  $\omega_1/\omega_2$ , o que pode explicar a discrepância ocorrida no coeficiente linear.

Já que o atrito do ar será dificilmente reduzido, é importante minimizar o intervalo de tempo entre as duas medições de  $\omega$ .

Através dessa análise chegamos a conclusão que o modelo foi qualificado, e com isso, o ciclo foi completado. Através do gráfico obtemos uma reta, que mostra qualitativamente a compatibilidade do modelo.

Note que na avaliação do ciclo nos deparamos com uma retroação. Isto é, o valor do coeficiente linear não se apresentava compatível quando foi quantificado pelo modelo e pelo ajuste da reta. No entanto, apresentamos uma explicação, demonstrando uma alternativa de abordagem do problema experimental.

## **6. ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS**

A proposta apresentada foi testada em situação de aula no 1º semestre de 1997 na FEF - Faculdade de Educação Física da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas.

A disciplina MH924 - Laboratório Básico de Biomecânica foi organizada para esse propósito e inserida no currículo do curso de Educação Física como disciplina eletiva. Em anexo apresentamos a proposta de criação da disciplina.

Propomos neste capítulo descrever a organização do processo de aplicação dos experimentos propostos e analisá-lo. Para isso, dividiremos o capítulo em dois itens: organização e análise.

### **6.1 Organização**

O semestre letivo atribuído às atividades de laboratório foi dividido em três partes:

1. aulas expositivas,
2. aulas práticas com execução de experimentos, sob liderança do professor,
3. aulas práticas com execução de experimentos, com iniciativa dos alunos e acompanhamento do professor.

Nas aulas expositivas foram abordados: o método científico e as ferramentas matemáticas e estatísticas necessárias para o tratamentos dos dados experimentais.

Nas aulas práticas, com liderança do professor, foi realizado um experimento preparatório abordando cada etapa do método científico.

Tanto as aulas expositivas quanto as primeiras aulas práticas, foram designadas como preparatórias para a execução dos demais experimentos. Para essas aulas foram atribuídas cinco semanas.

Após, os alunos passaram aos experimentos propostos. Nesses, o planejamento e a execução foram executados em grupo e relatados em um caderno específico para o laboratório. A correção dos trabalhos foi realizada pelo professor, anotando as observações e pontuando cada uma das atividades (planejamento e execução) previstas.

Com essa estrutura, possibilitou-nos, de forma qualitativa, analisarmos o processo de trabalho no laboratório básico de biomecânica e o material proposto. Os subsídios que nos possibilitaram a análise foram extraídos pelo acompanhamento das atividades realizadas pelos alunos.

A seguir, passaremos, então, a análise do processo de trabalho no laboratório, seguindo ordenadamente cada uma das etapas desenvolvidas. No próximo item vamos identificá-las da seguir forma:

1. Aulas expositivas e práticas c/ liderança do professor como Processo de preparação,

2. Aulas práticas c/ iniciativa dos alunos como Processo de planejamento e execução.
3. Análise dos experimentos propostos.

## 6.2 Análise

Com relação ao processo de preparação para a execução dos experimentos, observou-se que a parte teórica destinada ao método científico, inicialmente apresentada em forma expositiva, mostrou-se mais motivadora quando foi apresentada juntamente com uma experiência prática, abordando um fenômeno da área biomecânica.

Com relação à realização do processo de planejamento dos experimentos, observou-se a importância da existência do preparo prévio para as atividades de laboratório. Toda a vertente analítica precisa ser executada, bem como, o planejamento da etapa experimental. Nesse sentido, entende-se que durante o processo de ensino, principalmente no início das atividades, precisa haver uma maior interferência do professor orientando as atividades, sobretudo na parte em que confere aos acadêmicos a descrição do modelo.

O esquema de duas horas semanais para cada experimento, por um lado, beneficiou o esquema de rodízio de experimentos entre os grupos da turma, no entanto, apontou ao processo de ensino a necessidade de motivação à utilização dos horários extras com o professor da disciplina.

Com relação ao processo de execução da parte experimental, a motivação apareceu mais claramente. Novamente, a questão da atividade

prática ficou ressaltada. Observou-se que a turma se entusiasmou por atividades em que havia o manuseio de equipamentos e medição de variáveis.

Nesse processo, ficou evidenciado o papel do professor na orientação quanto aos critérios a serem adotados pelos grupos na execução dos procedimentos experimentais planejados. Esses critérios referem-se tanto às atividades de preparo das montagens e medição de variáveis quanto à confecção dos relatórios experimentais.

Durante o período de aula, a questão da assiduidade foi ressaltada, uma vez que, através do trabalho em grupo, todas as atividades experimentais necessitaram do trabalho em conjunto. Se porventura o aluno não participasse das atividades relacionadas a um determinado experimento, sua avaliação era quantificada apenas pelos resultados dos trabalhos de que realmente ele havia participado.

A avaliação contínua dos relatórios, com pontuação e observações, como forma de avaliação da disciplina, parece ter contribuído com a dinâmica das atividades, uma vez que mostrou à turma a necessidade da participação ativa individual, dispensou as avaliações formais, geralmente aplicadas de duas a três vezes no semestre e colocou o professor a par do nível de compreensão dos alunos em torno do conteúdo da disciplina.

Com relação aos experimentos propostos, observou-se que, aqueles que utilizaram como matéria de análise o corpo humano, como, por exemplo, a análise da força de reação do solo sobre um indivíduo durante a realização de um salto e a quantificação do impulso transferido a um saco de boxe, foram os

que mais mobilizaram os acadêmicos. Cabe aqui salientar, que neste trabalho já implementamos o rol de experimentos apresentados aos acadêmicos durante a realização da disciplina.

De forma geral, através da organização e análise que fizemos, alguns pontos parecem descrever as características que contribuem para a aplicação prática do laboratório básico de biomecânica:

1. A seleção de fenômenos inseridos no contexto da Educação Física para o desenvolvimento de experimentos
2. O preparo extra-classe para a realização dos experimentos
3. A participação assídua tanto do professor quanto do aluno nas atividades experimentais
4. A avaliação contínua do aluno, através da correção dos relatórios desenvolvidos e através do atendimento individualizado por parte do professor em relação às dificuldades apresentadas
5. A utilização do método científico como orientador das atividades laboratoriais.



## 7. CONCLUSÃO

No intuito de contribuir com uma proposta de ensino para a disciplina de Biomecânica, que contemple uma ação concomitante da teoria e da prática, desenvolvemos um laboratório com propostas de atividades experimentais.

A atividade pedagógica baseada em prática experimental é uma alternativa viável a ser empregada na disciplina de Biomecânica, pois contribui para valorizar a formação do acadêmico, quanto: a fundamentação teórica, a aplicação prática dos conhecimentos e, a postura crítica durante a análise do trabalho realizado. Vejamos como esses fatores se integram na prática do profissional de Educação Física.

Durante a orientação de qualquer atividade, o profissional de Educação Física precisa saber integrar seus conhecimentos teóricos com as manifestações práticas de seus alunos. E realizando seus procedimentos didáticos de forma planejada, consciente, o profissional desenvolve uma postura crítica que qualifica o seu trabalho. Uma atitude de desenvolver procedimentos baseados em planejamento prévio.

No trabalho que estamos apresentando, desenvolvemos propostas de atividades experimentais que levam o acadêmico a treinar essa atitude, além de estudar conceitos que fundamentam a área da Biomecânica. Durante o

processo, a estrutura fundamental do trabalho permanece alicerçada no método científico.

Acreditamos que é isso que falta colocar em prática na área de ensino da Biomecânica . Por enquanto, a Biomecânica em termos de ensino tem sido teórica. A teoria e a prática precisam ser integradas através do método científico.

Acredita-se com isso, que, através do Laboratório Básico de Biomecânica, estamos contribuindo na formação de pessoal capacitado, de utilizar corretamente os conhecimentos da Biomecânica na atividade prática da Educação Física.

Como complemento, o laboratório contribui ainda com a iniciação do acadêmico na área da pesquisa. As metas da universidade brasileira não se canalizam apenas no ensino, mas também, na pesquisa e na extensão. Pretende-se que o acadêmico seja incentivado além da sua formação básica, a desenvolver uma iniciação científica que possa futuramente prepará-lo a atividades de pós-graduação.

Integrando-se a laboratórios de pesquisa, o profissional de Educação Física terá capacidade de contribuir, junto a profissionais de outras áreas científicas, com o desenvolvimento de novas metodologias canalizadas para a análise do movimento humano.

Enquanto ferramenta, o laboratório básico do modo como foi concebido viabiliza a sua implantação em qualquer realidade institucional. Os experimentos são desenvolvidos com material de fácil aquisição e montagem, o

que não **dificulta** a sua reprodução. E a metodologia a ser empregada em cada experimento **é** abordada na prática e exemplificada através dos outros experimentos **propostos**.

O **material** desenvolvido não limita a ação dos professores que irão manuseá-lo, **mas** abre possibilidade da sua implementação com a criação de novos experimentos, a partir da incorporação do método científico.

Durante o processo de ensino, aluno e professor são imersos numa situação de co-responsabilidade, na qual o papel de cada um é necessário para a concretização dos objetivos do laboratório. O acadêmico como sujeito do processo, o **professor** como orientador.

Este **trabalho** conclui-se com esta proposta de estrutura básica de laboratório. **Abre-se** agora, a possibilidade da sua implantação nas universidades brasileiras e do desenvolvimento de novas propostas de organização da disciplina de Biomecânica.

## 8. ANEXOS

8.1 Proposta de criação de disciplina eletiva para os cursos de Graduação em Educação Física

8.2 Disco estroboscópico

## PROPOSTA DE CRIAÇÃO DE DISCIPLINA ELETIVA PARA OS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

### PROPONENTES:

Prof. Dr. René Brenzikofer

Pedro Paulo Deprá - mestrando

LIB - LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA

**SIGLA:** MH924

**DISCIPLINA:** Laboratório Básico de Biomecânica

**CARGA HORÁRIA:** 3 horas/aula de Laboratório/ Semanais

**CRÉDITOS:** 03

### SEM PRÉ-REQUISITOS

**EMENTA:** Introdução à Biomecânica Experimental.

Estudo e análise de conceitos de mecânica aplicados à Biomecânica.

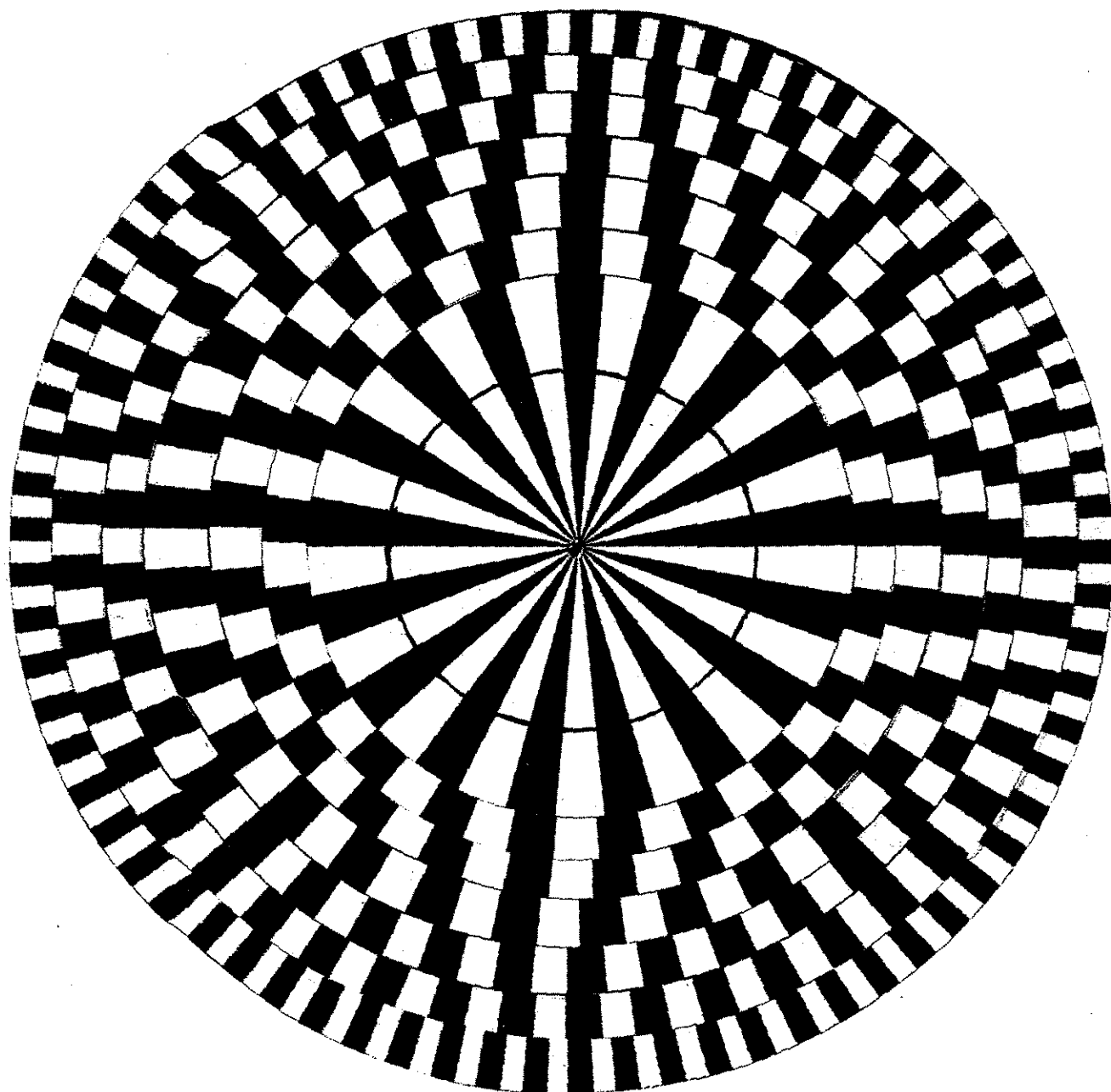
Iniciação ao Método Científico.

### **PROGRAMA:**

Através de experimentos simples realizados em laboratório, estudam-se os elementos básicos de mecânica que formam um conjunto de recursos técnico-científicos para a análise biomecânica do corpo humano.

- 1) Análise qualitativa e quantitativa;
- 2) O método científico como integração teórico-experimental;
- 3) Fundamentos matemáticos para a geração de modelos e descrição de suas previsões:
  - 3.1.) Planejamento do experimento: geração do modelo; obtenção de previsões;
- 4) Práticas experimentais relativas aos conceitos da mecânica:
  - 4.1.) Realização de montagens experimentais;
  - 4.2.) Realização de coleta de dados:
    - 4.2.1.) Técnicas de medição;
    - 4.2.2.) Registro de dados;
    - 4.2.3.) Tratamento de dados experimentais;
      - 4.2.3.1.) Métodos estatísticos, gráficos
- 5) Análise crítica do processo experimental realizado e dos resultados obtidos, conclusão.

# DISCO ESTROBOSCÓPICO



## 9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BRENZIKOFER, René. Introdução às ciências experimentais e ao método científico. In: \_\_\_\_\_, RIBEIRO, Carlos Alberto. Guia para as disciplinas de laboratório básico. Campinas: UNICAMP: IFGW, 1998.
- BRENZIKOFER, René. O Formalismo de Lagrange - Um exemplo de aplicação. IV Congresso Nacional de Biomecânica. USP, São Paulo, 1992.
- BRENZIKOFER, René. O método científico: um desafio permanente. Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- DEPRÁ, Pedro Paulo & BRENZIKOFER, René. Modelos para detecção e quantificação da "crise de arraste" em saques de vôlei. Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- HALL, Suzan. Biomecânica básica. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1993.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. Fundamentos de Física 1. Mecânica. 2ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos Editora, 1993.
- HASCH, Philip J. Cinesiologia e anatomia aplicada. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1991.
- HAY, James G. & REID, J. Gavin. As bases anatômicas e mecânicas do movimento humano. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1985.
- HEGENBERG, Leônidas. Etapas da investigação científica. Leis, teorias, método. São Paulo: USP, EPU, 1976.
- HOLLE, Britta. Desenvolvimento motor na criança. Normal e retardada. São Paulo: Editora Manole, 1979.
- KÖCHE, José Carlos. Fundamentos de metodologia científica. Teoria da ciência e prática da pesquisa. 14ª ed. Petrópolis: Vozes, 1997.
- LEHMKUHL, L.D. e SMITH, L.K. Cinesiologia Clínica. 4 ed. São Paulo: Editora Manole, 1987.
- MEINERS, Harry F. Physics demonstration experiments. vol. 1. New York: The Ronald Press Company, 1970

- MERCADANTE, Luciano. Metodologia para orientação do corpo humano. Tese de Mestrado. Campinas: UNICAMP, 1994.
- POPPER, Karl R. A lógica da pesquisa científica. São Paulo: Cultrix: Ed. Universidade de São Paulo, 1993.
- TABACHNIK, Ben. La preparazione pluriennale dei velocisti. ATLETICASTUDI. Roma, v.22, n.3/4, p.61-129, mag.-ago-, 1991.
- TIPLER, Paul A. Física. Volume 1. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.
- WIRHED, Rolf. Atlas de anatomia do movimento. São Paulo: Editora Manole, 1986.



## 10. BIBLIOGRAFIA

- ASTRAND, Per-Olof. Tratado de fisiologia do exercício. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana, 1980.
- BLUM, Haywood. Physics and the art of Kicking and punching. American Journal of Physics, v.45, n.1, p. 61-4, January, 1977.
- BRANCAZIO, Peter J. Physics of basketball. American Journal of Physics. V. 49, n.4, p.356-365, April, 1981.
- BRENZIKOFER, René. Biomecânica. Uma Ciência Experimental. Anais do V Congresso Brasileiro de Biomecânica. Santa Maria: UFSM, 1993.
- BRENZIKOFER, René. Instrumentação para uma biomecânica de corpo inteiro. Anais do III Congresso Nacional de Biomecânica. II Encontro Mineiro de Biomecânica. Juiz de Fora: UFJF, 1991.
- CASILLAS, A.L. Máquinas. Formulário Técnico. Editora mestre Jou, 1963.
- DEPRÁ, Pedro Paulo & BRENZIKOFER, René. Como quantificar golpes. Anais do 3º Congresso Latino-Americano - Esporte, Educação e Saúde no movimento humano. Foz do Iguaçu-PR, 1996.
- DRAPER, Julie & STEELE, James. The use of interactive video in teaching of Biomechanical principles. The ACHPER National Journal.p. 9-11. June, 1985
- DYSON, Geoffrey H.G. The mechanics of Athletics. New York: Holmes & Meier Publishers, Inc., 1978.
- ESCH, Dortha & LEPLEY, Marvin. Evaluation of joint motion: methods of measurement and recording. Minnesota: University of Minnesota Press, 1976.
- FROHLICH, Cliff. Aerodynamic effects on discus flight. American Journal of Physics. V.49, n.2, p. 1125-32.
- FROHLICH, Cliff. Do springboard divers violate angular momentum conservation? American Journal of Physics. 47(7), 583-592, July, 1979.

- GEWANDSZNAJDER, F. O que é o método científico. Editora Pioneira: São Paulo, 1989.
- HAY, James G. Biomecânica das técnicas desportivas. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981.
- HENNIES, Curt Egon (coord.). Problemas experimentais em física. 3 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1989.
- HOCHMUTH, Gerhard. Biomecanica de los movimientos deportivos. Madrid: Doncel, 1973.
- JOKINEN, Vilho, SAVOLAINEN, Sauli & TIKKANEN, Pertti. Apparatus for an easy demonstration of the basic phenomena in fluid flow. American Journal of Physics, 64(9), September, 1996.
- KAMMER, D.W. & WILLIAMS, J.A. Some experiments with biological applications for the elementary laboratory. AJP. Vol.43, nº 6, june 1975.
- LAKATOS, Eva Maria & MARCONI, Marina de Andrade. Metodologia científica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- LIESEGANG J. & LEE, A R. Dynamics of a bicycle: Nongyroscopic aspects. American Journal of Physics, v.46, n.2, p.130-2, Feb., 1978.
- LUCIE, Pierre. A gênese do método científico. V.1. : Rio de Janeiro: Editora Campus, 1977.
- PAULI, Ronald Ulysses et alii. Ferramentas matemáticas para o estudo de física. São Paulo: EPU, 1978.
- PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. Física. parte 1. 6ª ed. São Paulo: EDART, 1970.
- SEARS & ZEMANSKI. Física. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.
- SEARS, F.W. & ZEMANSKY, M.W. Física. volume 1. Rio de Janeiro: Mecânica-Hidrodinâmica. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.
- SWOKOWSKI, Earl W. Cálculo com geometria analítica. Vol.1, 2ª ed. São Paulo: MAKRON Books, 1995.

- TAN, A & MILLER, G. Kinematics of free throw in basketball. American Journal of Physics. V.49, n.6, p.542-4, June, 1981.
- WALKER, Jean D. Karate strikes. American Journal of Physics, v.43, n.10,p. 845-9, October, 1975.
- WILK, S.R., McNair, R.E. & FELD, M.S. The physics of karate. American Journal of Physics, v.51, n.9, p.783-90, september, 1983.